



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

RIAN DUTRA DE LIMA

**IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM
PROJETOS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

CARAÚBAS

2024

RIAN DUTRA DE LIMA

**IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM
PROJETOS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gilvan Bezerra dos
Santos Junior

CARAÚBAS

2024

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

L732i Lima, Rian Dutra de.
Implementação de ferramentas de Inteligência Artificial em projetos de estrutura de concreto armado / Rian Dutra de Lima. - 2024.
138 f. : il.

Orientador: Gilvan Bezerra dos Santos Junior.
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil, 2024.

1. Otimização. 2. Inteligência Artificial. 3. Concreto armado. I. Bezerra dos Santos Junior, Gilvan, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RIAN DUTRA DE LIMA

**IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM
PROJETOS DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia civil.

Defendida em: 25 / 10 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Gilvan Bezerra dos Santos Junior, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Leonardo Henrique Borges de Oliveira, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Wallison Angelim Medeiros, Prof. Dr. (IFPI)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço primeiramente ao meu orientador Gilvan Bezerra dos Santos Junior, pela orientação valiosa, apoio constante e incentivo ao longo de todo o processo. Sua expertise foi fundamental para o desenvolvimento deste projeto.

Agradeço também aos meus colegas de curso e amigos, que estiveram ao meu lado, compartilhando ideias e momentos de aprendizado. A colaboração de todos foi essencial para superar os desafios encontrados.

Sou grato à minha família, que sempre acreditou em mim e me apoiou em todas as etapas desta jornada acadêmica. Seu amor e encorajamento foram minhas maiores fontes de motivação.

Por fim, agradeço a todos da instituição, aos profissionais, que contribuíram com minha formação acadêmica, o resultado desse trabalho também tem um pouco de cada um que esteve comigo ao longo desses anos. Sem a ajuda de vocês, este projeto não teria sido possível.

Muito obrigado a todos!

As dificuldades são oportunidades disfarçadas,
prontas para serem desvendadas. Mantenha-se
persistente e transforme desafios em degraus
para o sucesso.

Marco Aurelio Souza Lima

RESUMO

O setor da construção civil enfrenta desafios significativos para desenvolver projetos de concreto armado que combinem qualidade e eficiência. O avanço tecnológico, especialmente na Engenharia Civil, tem possibilitado o uso de ferramentas de inteligência artificial (IA) para otimizar a gestão de recursos, apoiar a tomada de decisões, reduzir erros e acelerar processos repetitivos. Baseado nestes pretextos o estudo tem como objetivo implementar ferramentas de IA em projetos de concreto armado para otimizar o design, aumentar a eficiência operacional e garantir a qualidade e segurança das construções. Além disso, busca-se identificar as ferramentas de IA mais eficazes para essa otimização, analisar a confiabilidade das respostas fornecidas, avaliando sua precisão e consistência, e estruturar um protocolo de desenvolvimento de projetos com IA. A pesquisa se justifica pelo potencial da IA em melhorar a qualidade dos projetos estruturais, reduzir prazos de execução e otimizar o uso de recursos. A metodologia adotada inclui uma revisão bibliográfica e a seleção de ferramentas de IA com foco em parâmetros preliminares, cálculos estruturais e otimização de projetos, de acordo com a NBR 6118:2023. Entre as ferramentas analisadas, o Chat GPT destacou-se em relação ao Gemini e ao Copilot, fornecendo respostas mais detalhadas e precisas. De modo geral, a confiabilidade das ferramentas de IA está diretamente relacionada ao nível de detalhamento dos prompts fornecidos, quanto mais específicos e bem elaborados forem os comandos, maior será a precisão e consistência das respostas. Para o elemento estrutural viga, quando solicitado com prompts mais detalhados, as ferramentas apresentaram resultados satisfatórios, ao contrário do que ocorreu para lajes e pilares. Conclui-se que, embora promissora, a aplicação da IA em projetos de concreto armado deve ser complementada pela avaliação crítica de engenheiros, para assegurar a conformidade com as normas técnicas e garantir a segurança das construções.

Palavras-chave: Otimização. Inteligência Artificial. Concreto armado.

ABSTRACT

The construction industry faces significant challenges in developing reinforced concrete projects that combine quality and efficiency. Technological advances, especially in civil engineering, have made it possible to use artificial intelligence (AI) tools to optimize resource management, support decision-making, reduce errors and speed up repetitive processes. Based on these pretexts, the study aims to implement AI tools in reinforced concrete projects to optimize design, increase operational efficiency and guarantee the quality and safety of constructions. In addition, it seeks to identify the most effective AI tools for this optimization, analyze the reliability of the answers provided, evaluating their accuracy and consistency, and structure an AI project development protocol. The research is justified by the potential of AI to improve the quality of structural projects, reduce execution times and optimize the use of resources. The methodology adopted includes a literature review and the selection of AI tools focusing on preliminary parameters, structural calculations and project optimization, in accordance with NBR 6118:2023. Among the tools analyzed, Chat GPT stood out compared to Gemini and Copilot, providing more detailed and accurate answers. In general, the reliability of AI tools is directly related to the level of detail of the prompts provided; the more specific and well-crafted the commands, the greater the accuracy and consistency of the responses. For the structural element beam, when prompted with more detailed prompts, the tools showed satisfactory results, unlike for slabs and columns. The conclusion is that, although promising, the application of AI in reinforced concrete projects must be complemented by the critical evaluation of engineers to ensure compliance with technical standards and guarantee the safety of constructions.

Keywords: Optimization. Artificial Intelligence. Reinforced concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classe de agressividade ambiental (CAA).....	20
Figura 2: Correspondência entre a CAA e resistência dos concretos.....	21
Figura 3: Cobrimento nominal dos elementos estruturais	21
Figura 4: viga gerada pelo Chat GPT	38
Figura 5: informações da viga com mais detalhes.....	39
Figura 6: detalhamento da Laje	44
Figura 7: desenho do pilar	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Diretrizes gerais para a estrutura de uma escola	26
Quadro 2: Diretrizes adotadas para a Cidade de Areia Branca/RN.....	29
Quadro 3: Dados dos parâmetros de projeto para o estudo de caso	32
Quadro 4: Altura da viga para um quarto residencial.....	34
Quadro 5: especificações para análise de vigas na cidade de Brejo do Cruz/PB	36
Quadro 6: cálculo da área de aço para uma viga	37
Quadro 7: escolha do tipo de laje	40
Quadro 8: Pré-dimensionamento de laje	42
Quadro 9: Parâmetros de análises para pilares na fase de projeto.....	46
Quadro 10: dimensionamento de pilar	48
Quadro 11: dimensões usuais de pilares de acordo com a quantidade de pavimentos.....	50
Quadro 12: Combinação de ações	52
Quadro 13: checklist das verificações a serem feitas no projeto estrutural.....	55
Quadro 14: verificações de projeto.....	57
Quadro 15: Protocolo para elaboração de prompt para os projetos de estrutura de concreto armado	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR Norma Brasileira

IA Inteligência Artificial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos.....	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos específicos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Primórdios e definições da inteligência artificial.....	16
2.2	Aplicações da inteligência artificial	17
2.3	Ferramentas que utilizam a inteligência artificial.....	18
2.4	Tecnologia e Engenharia.....	18
2.5	Concepção e parâmetros de um projeto estrutural.....	20
2.6	Elementos estruturais.....	21
2.6.1	Vigas	21
2.6.2	Lajes.....	22
2.6.3	Pilares.....	22
2.7	Combinação de ações	23
3	METODOLOGIA	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
4.2	Diretrizes gerais para projetos estruturais conforme IA.....	25
4.2.1	Especificações para a estrutura de uma escola	25
4.2.2	Construção da escola em Areia Branca/RN.....	28
4.2.3	Estudo de caso com <i>prompt</i> mais detalhado	31
4.3	Vigas	33
4.3.1	<i>Prompt</i> mais geral sobre vigas.....	33
4.3.2	Análise de vigas com especificações	35
4.3.3	Dimensionamento de vigas	37
4.3.4	Crie figuras detalhada da viga.....	38
4.4	Lajes.....	39
4.4.1	Escolha do tipo de laje	39
4.4.2	Pré-dimensionamento de lajes	41
4.4.3	Crie figuras detalhada da laje.....	44
4.5	Pilares	45

4.5.1	Parâmetros de análises de pilares na fase de projetos.....	45
4.5.2	Dimensionamento de pilar	48
4.5.3	Crie figuras detalhada do pilar	49
4.5.4	Dimensões dos pilares de acordo com a quantidade de pavimentos	50
4.6	Combinação de ações	51
4.7	Sugestão de verificações a serem realizadas na fase de análise de projetos.....	54
4.8	Protocolo de elaboração de projeto de estruturas com o auxílio de IA.....	58
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
6	REFERÊNCIAS	62
APÊNDICE 1: especificações para a estrutura de uma escola.....		64
APÊNDICE 2: Construção da escola em Areia Branca/RN.....		70
APÊNDICE 3: estudo de caso com <i>prompt</i> mais detalhado.....		75
APÊNDICE 4: <i>prompt</i> mais geral sobre vigas		84
APÊNDICE 5: análise de vigas com especificações		87
APÊNDICE 6: dimensionamento de viga.....		92
APÊNDICE 7: escolha do tipo de laje		103
APÊNDICE 8: pré-dimensionamento de lajes pelo.....		105
APÊNDICE 9: parâmetros de análises de pilares na fase de projetos		111
APÊNDICE 10: dimensionamento de pilar		116
APÊNDICE 11: Dimensões dos pilares de acordo com a quantidade de pavimentos....		126
APÊNDICE 12: combinações de ações		130

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a indústria da construção civil enfrenta desafios significativos para oferecer projetos de estruturas em concreto armado que aliam qualidade e eficiência. O avanço tecnológico, especialmente no campo da engenharia civil, tem possibilitado a utilização de softwares que funcionam como ferramentas para a otimização de tempo e recursos. Além disso, o desenvolvimento de inteligências artificiais tem se mostrado uma inovação promissora, capaz de auxiliar na eficácia dos projetos por meio de análises mais precisas e decisões baseadas em dados reais. Essas tecnologias não só melhoram a precisão e a rapidez nas tomadas de decisão, mas também ajudam na identificação precoce de problemas e na implementação de soluções mais eficientes, contribuindo para a melhoria contínua dos processos de construção.

Na Engenharia Civil, a inteligência artificial (IA) pode ser utilizada como um recurso tecnológico fundamental para otimizar a gestão de recursos, apoiar o processo de tomada de decisões, diminuir as taxas de erros e otimizar processos repetitivos, entre outras atividades (DISCHER; SANTOS; TELES, 2022). Para Kripka (2020), na engenharia estrutural, a otimização não se limita à redução de custos, mas busca sistematicamente a melhor solução para um problema, considerando eficiência e impacto ambiental. Problemas complexos requerem o uso de tecnologias avançadas, como a IA, capaz de processar vastos volumes de dados e variáveis para tomar decisões precisas e eficazes.

A aplicação eficaz da IA pode transformar significativamente a forma como os projetos de construção são geridos e executados, trazendo benefícios substanciais em termos de economia de tempo e custo, bem como na melhoria da qualidade final das obras.

A integração da IA em projetos de estruturas em concreto armado na Engenharia Civil é crucial para melhorar a qualidade das estruturas, reduzir prazos de execução e otimizar o uso de recursos. O avanço tecnológico permite o desenvolvimento de softwares e IA que não só melhoram a eficiência operacional, mas também previnem falhas estruturais e otimizam processos repetitivos. A IA é capaz de desenvolver soluções inovadoras baseadas em vastos bancos de dados, aplicando algoritmos avançados para analisar históricos de projetos, prever problemas potenciais e sugerir melhorias. Essa pesquisa não apenas beneficia a prática da construção civil com inovações tecnológicas, mas também contribui para o avanço teórico da engenharia estrutural, fortalecendo o campo com novas abordagens e soluções inovadoras.

1.1 Objetivos

Nesta seção, serão apresentados os principais objetivos da pesquisa, divididos em objetivo geral e objetivos específicos.

1.1.1 Objetivo geral

Investigar ferramentas de inteligência artificial em projetos de estruturas de concreto armado para otimizar o projeto.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar as ferramentas de IA mais eficazes para otimização de projetos em concreto armado;
- Analisar a confiabilidade das respostas fornecidas pelas ferramentas para avaliar a precisão e consistência das soluções propostas pelas ferramentas de IA;
- Estruturar um procedimento de desenvolvimento de projeto de concreto armado com auxílio de IA visando criar um protocolo integrado que utilize ferramentas de inteligência artificial para otimização e gestão desses projetos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico, serão explorados os fundamentos teóricos que embasam a pesquisa, abordando desde os primórdios da inteligência artificial até suas aplicações na engenharia civil, com foco específico na utilização de IA em projetos estruturais de concreto armado. Serão discutidos conceitos centrais como o desenvolvimento histórico da IA, suas principais ferramentas, e a relevância dessa tecnologia para otimização e automação de processos na engenharia. Além disso, serão apresentados os parâmetros normativos para projetos de estruturas, destacando a importância da concepção e dimensionamento adequados para garantir a segurança e eficiência das construções.

2.1 Primórdios e definições da inteligência artificial

Em 1950 Alan Turing publicou um artigo chamado “Computing Machine and Intelligence”. Neste artigo, Turing apresentou, pela primeira vez, o que hoje é conhecido por Teste de Turing, com o qual se pretendia descobrir se uma máquina podia ou não emular o pensamento humano. O Teste de Turing funciona da seguinte forma: um interrogador (humano) fará perguntas a duas entidades ocultas; uma delas é um humano, e a outra é um computador (LIMA, 2014). Além disso, a inteligência artificial (IA) surgiu na década de 1950, quase simultaneamente com o desenvolvimento dos primeiros computadores. O termo “Inteligência Artificial” foi proposto pelo professor John McCarthy durante a Conferência de Dartmouth, realizada em 1956, sendo considerado o ponto de partida da IA (HAQUE, BRITO, FRADE, 2024).

Conforme Lima (2014), o termo Inteligência Artificial (IA) constitui vários procedimentos computacionais cujas funções realizadas, caso um ser humano as executasse, seriam consideradas inteligentes. A Inteligência Artificial é uma ampla área de pesquisa que se subdivide em diversas subáreas, cada uma delas adota diferentes abordagens e trata variados problemas que, em geral, são de alta complexidade e para os quais ainda não há soluções convencionais satisfatórias.

Para Barbosa e Portes (2023), a Inteligência Artificial é a capacidade de dispositivos eletrônicos de funcionar de maneira que lembra o pensamento humano. Isso implica em perceber variáveis, tomar decisões e resolver problemas. O autor ainda retrata que a Inteligência Artificial é um conceito que pertence à computação e consiste na capacidade que máquinas (físicas, softwares e outros sistemas) têm de interpretar dados externos, aprender a

partir dessa interpretação e utilizar o aprendizado para resolver tarefas específicas e atingir objetivos determinados.

2.2 Aplicações da inteligência artificial

Atualmente a Inteligência Artificial já pode ser considerada intrínseca ao dia a dia de muitas atividades. De acordo com Kaufman (2022), algoritmos de IA estão em toda parte. Numa sociedade hiperconectada, os seres humanos vivem em ambientes tecno-sociais inteligentes em que a sociabilidade e a comunicação geram dados digitais. A IA já domina o mercado de ações, compõe música, produz arte, dirige carros, escreve artigos de notícias, prognostica tratamentos médicos, decide sobre crédito e contratação, recomenda entretenimento, e tudo isso ainda em seus primórdios.

A Inteligência Artificial já é realidade no âmbito empresarial na sociedade moderna, trazendo diversos benefícios com a sua adoção. A crescente adoção de tecnologias digitais (“transformação digital”) pelas instituições, públicas e privadas, está transformando tarefas, empregos e habilidades. Uma parcela não desprezível dos empregos recém-criados será, na próxima década, em ocupações totalmente novas ou ocupações existentes com inéditos conteúdos e requisitos de competências. Esse conjunto resultante de profissões emergentes reflete a adoção de novas tecnologias e a crescente demanda por novos produtos e serviços, impulsionadores de inéditos empregos na Economia Verde, na vanguarda da Economia de Dados e IA, na Economia do Cuidado, bem como novas funções na engenharia, na computação em nuvem, em marketing/vendas e na produção de conteúdo (KAUFMAN, 2022).

O funcionamento da inteligência artificial se dá quando um sistema, a partir de comandos e símbolos computacionais, começa a aprender e analisar grandes volumes de dados. Em um estudo recente sobre a aplicabilidade da Inteligência Artificial, fala-se também na importância de termos bons dados. Mais do que alimentação, os sistemas de IA querem nutrição de qualidade (BARBOSA, PORTES, 2023).

O treinamento das Inteligências Artificiais é feito por duas técnicas que permitem que as máquinas aprendam e interajam com humanos, o *Machine Learning* e o *Deep Learning*. Conforme Barbosa e Portes (2023), *Machine Learning* é um termo que significa “aprendizado da máquina”. É a tecnologia que propicia aos sistemas a capacidade de aprenderem sozinhos e tomarem decisões autônomas, seguindo o processamento de dados e identificação de padrões. O *Deep Learning* provém do *Machine Learning*, o “aprendizado profundo” diz respeito a uma

maior capacidade de aprendizado do sistema, pois utiliza redes neurais complexas. Essas redes seguem a mesma lógica da ligação neurônio-cérebro humano.

2.3 Ferramentas que utilizam a inteligência artificial

A IA refere-se a diferentes abordagens e técnicas que permitem que as máquinas realizem tarefas tradicionalmente associadas à inteligência humana. Dentro do campo da IA, existem vários tipos e metodologias, cada um com as suas próprias características e aplicações únicas, como por exemplo, redes bayesianas, máquinas de vetores de suporte, árvores de decisão, redes neurais, transformadores (i.e., transformers) e modelos de linguagem de grande escala (i.e., LLM; Large Language Models) (HAQUE, BRITO, FRADE, 2024). No cenário contemporâneo são muitas as ferramentas de Inteligência Artificial para diversas finalidades, como é o exemplo do Chat GPT, Gemini e o Copilot.

O ChatGPT-4 (sigla para GenerativePre-TrainedTransformer) é um modelo de linguagem baseado em *Deep Learning*, onde na prática, a plataforma utiliza um algoritmo baseado em redes neurais que permitem estabelecer uma conversa com o usuário a partir do processamento de um imenso volume de dados (BARBOSA, PORTES, 2023).

O Gemini 1.5 pro do Google representa um salto significativo na tecnologia de *chatbot*, apresentando capacidades avançadas e recursos inovadores. Central para o design do Gemini é seu status como um modelo “multimodal nativo”, permitindo que ele processe e aprenda com vários tipos de dados, incluindo texto, áudio e vídeo. As capacidades técnicas do Gemini são evidentes em sua capacidade de analisar conjuntos de dados complexos, como gráficos e imagens, o que é um avanço substancial (MASALKHI, ONG, WAISBERG, 2024).

O Copilot na versão 23H2, também conhecido como Microsoft Copilot, leva as capacidades do ChatGPT e enriquece as respostas com dados atualizados e links relevantes. Além disso, por ser uma ferramenta Microsoft, este consegue estabelecer facilmente ligação com ferramentas MS Office, como o Excel (HAQUE, BRITO, FRADE, 2024).

2.4 Tecnologia e Engenharia

A profissão de engenheiro é desafiadora e enfrenta diversas dificuldades, sendo a improdutividade uma preocupação significativa. Um dos principais obstáculos é a complexidade dos projetos envolvidos, que demandam alta tecnologia e atenção meticulosa em todas as etapas, desde a concepção até a entrega final. O volume extenso de informações e detalhes a serem considerados pode resultar em um aumento no tempo necessário para

completar cada fase do processo, impactando negativamente a produtividade desses profissionais (DE OLIVEIRA *et al.*, 2024).

Projetar a estrutura de uma edificação consiste em conceber um sistema cujos elementos com finalidade resistente combinam-se, de forma ordenada, para cumprir determinada função, que deve ser garantida durante sua vida útil prevista. A função pode ser: vencer um vão, como nas pontes; definir um espaço, como nos diversos tipos de edificações; ou conter um empuxo, como nos tanques, silos e paredes de contenção (TEATINI, 2016). Para avaliar esses sistemas complexos, é fundamental contar com ferramentas avançadas que permitam uma análise precisa e detalhada de cada componente estrutural.

A revolução tecnológica na informática trouxe avanços significativos na Engenharia Civil, especialmente para engenheiros estruturais. Sistemas computacionais robustos e acesso a informações globalizadas permitiram simular com precisão o comportamento das estruturas, aumentando a produtividade e permitindo testar diversos arranjos até encontrar o mais econômico. No entanto, é crucial que os engenheiros possuam sólido conhecimento teórico e prático para garantir a correta entrada e interpretação dos dados, assegurando a qualidade e segurança dos projetos estruturais (MIRANDA; SILVA, 2022).

Kimura (2018) traz uma indagação, diante das considerações sobre o uso de sistemas computacionais em projetos estruturais, qual é, então, o papel do Engenheiro? Cabe ao Engenheiro executar todas as funções que exigem raciocínio, lógica, perspicácia e discernimento. O software não faz engenharia, não faz projeto. Somente o Engenheiro é capaz disso. Toda a responsabilidade pelo projeto estrutural é do Engenheiro Civil que assina o projeto, e não do software, portanto, para tomar as melhores decisões, o engenheiro precisa ter o máximo de informações possíveis.

A automação no pré-dimensionamento de estruturas envolve a obtenção automática da espessura estrutural com base em um vão específico, verificando a viabilidade técnica conforme normas estruturais. Esse processo inclui a modelagem físico-mecânica para avaliar esforços e deslocamentos devido a ações como gravidade e vento. A integração da IA, especialmente técnicas de aprendizado de máquina, no ensino e na prática profissional, oferece uma abordagem interativa e atualizada para relacionar vãos e espessuras das peças estruturais, aprimorando a concepção e o projeto de estruturas (TAVARES, 2022).

Na Engenharia Civil, a IA otimiza processos, aprimora a eficiência e resolve desafios complexos, transformando práticas convencionais e superando limitações anteriores. À medida que a Engenharia Civil adota a IA, essa integração promete revolucionar a eficiência, sustentabilidade e inovação na indústria da construção. De acordo com Tavares (2022), a IA

revolucionou o pré-dimensionamento e dimensionamento de estruturas, utilizando aprendizado de máquina para análise de dados, otimização de materiais, simulações em tempo real e educação avançada em engenharia estrutural, melhorando qualidade e segurança dos projetos.

2.5 Concepção e parâmetros de um projeto estrutural

Para iniciar um projeto estrutural devem ser analisados diversos parâmetros para se conceber um bom projeto. Com posse dos projetos de arquitetura, o engenheiro estrutural utilizará seus conhecimentos para elaborar um modelo mais eficiente que seja tanto viável tecnicamente quanto economicamente. Um dos primeiros passos, a concepção de uma estrutura é uma etapa considerada muito importante por diversos projetistas, para Pinheiro, Muzardo e Santos (2004), a concepção estrutural envolve escolher e posicionar elementos resistentes para formar um sistema capaz de absorver e transmitir esforços ao solo. Essa fase essencial deve garantir que a estrutura atenda às normas técnicas quanto à resistência, desempenho e durabilidade.

Segundo a NBR 6118:2023, as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que preservem a sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço, durante o período correspondente à sua vida útil.

Ao iniciar um projeto estrutural é de suma importância se atentar ao ambiente no qual a construção será implementada, pois o meio contribuirá na durabilidade da estrutura. De acordo com a NBR 6118:2023, é necessário se atentar as classes de agressividades ambientais e suas respectivas considerações, como a classe do concreto, cobrimentos dos elementos estruturais, relação água/cimento em massa, resistência característica do concreto, riscos de deterioração das estruturas, conforme as Figuras 1, 2 e 3.

Figura 1: Classe de agressividade ambiental (CAA).

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Frac	Rural	Insignificante
		Submerso	
II	Moderada	Urbano ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinho ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: Adaptado da NBR 6118 (2023).

Figura 2: Correspondência entre a CAA e resistência dos concretos.

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
	CP	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,50$	$\leq 0,45$
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
	CP	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C35$	$\geq C40$
^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655. ^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado. ^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: Adaptado da NBR 6118 (2023).

Figura 3: Cobrimento nominal dos elementos estruturais

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga ^b /pilare	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

Fonte: Adaptado da NBR 6118 (2023).

2.6 Elementos estruturais

Nesta seção serão abordados os principais elementos estruturais de uma edificação, incluindo vigas, lajes e pilares. Será discutido o pré-dimensionamento de vigas e lajes, com base nos parâmetros estabelecidos pela NBR 6118:2023, e também a estimativa da altura de vigas de acordo com o tipo de vão.

2.6.1 Vigas

As vigas são elementos lineares em que a flexão é preponderante, não devem apresentar largura menor que 12 cm. Esse limite pode ser reduzido respeitando-se um mínimo

absoluto de 10 cm em casos excepcionais, sendo obrigatoriamente respeitadas as condições da NBR 6118:2023.

Conforme Pinheiro, Muzardo e Santos (2004), em edifícios, geralmente essas condições são adequadamente respeitadas quando se adota largura mínima de 14 cm. Sempre que possível, a largura das vigas deve ser adotada de maneira que elas fiquem embutidas nas paredes. Porém, nos casos de grandes vãos ou de tramos muito carregados, pode ser necessário adotar larguras maiores. Nesses casos, procura-se atenuar o impacto na arquitetura do edifício. Uma estimativa aproximada para a altura das vigas pode ser dada por:

- tramos intermediários: $h_{est} = l / 12$;
- vigas biapoiadas: $h_{est} = l / 10$
- balanços: $h_{est} = l / 5$.

Onde

l = vão

2.6.2 Lajes

As lajes são classificadas como elementos planos bidimensionais, que são aqueles onde duas dimensões, o comprimento e a largura, são da mesma ordem de grandeza e muito maiores que a terceira dimensão (espessura). As lajes são também chamadas elementos de superfície (BASTOS, 2005).

De acordo com Pinheiro, Muzardo e Santos (2004), o pré-dimensionamento dos elementos estruturais é necessário para que se possa calcular o peso próprio da estrutura, que é a primeira parcela considerada no cálculo das ações. Ainda de acordo com os autores em sua obra, há o cálculo detalhado para o pré-dimensionamento de lajes de acordo com alguns parâmetros.

De acordo com a NBR 6118:2023, as espessuras mínimas para lajes são:

- 7 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço (de cobertura ou de piso).

2.6.3 Pilares

Pilares são “Elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes.” (NBR 6118:2023).

Inicia-se o pré-dimensionamento dos pilares estimando-se sua carga, por exemplo, através do processo das áreas de influência. Este processo consiste em dividir a área total do pavimento em áreas de influência, relativas a cada pilar e, a partir daí, estimar a carga que eles irão absorver (PINHEIRO; MUZARDO; SANTOS, 2004).

Para Bastos (2017), O dimensionamento dos pilares é feito em função dos esforços externos solicitantes de cálculo, que compreendem as forças normais (N_d), os momentos fletores (M_{dx} e M_{dy}) e as forças cortantes (V_{dx} e V_{dy}) no caso de ação horizontal.

2.7 Combinação de ações

A ABNT NBR 8681:2004, que trata de Ações e segurança nas estruturas – Procedimento, fixa os requisitos exigíveis na verificação da segurança das estruturas usuais da construção civil e estabelece as definições e os critérios de quantificação das ações e das resistências a serem consideradas no projeto das estruturas de edificações, quaisquer que sejam sua classe e destino

A referida norma aborda as combinações nos estados limites de uma estrutura: Estados a partir dos quais a estrutura apresenta desempenho inadequado às finalidades da construção. Os Estados limites últimos (ELU) são aqueles que, pela sua simples ocorrência, determinam a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção. Os Estados limites de serviço (ELS) são aqueles que, por sua ocorrência, repetição ou duração, causam efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção, ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura.

Do ponto de vista prático, as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas como se fossem as próprias ações. As deformações impostas são por vezes designadas por ações indiretas e as forças, por ações diretas (ABNT NBR 8681:2004).

- ações permanentes: Ações que ocorrem com valores constantes ou de pequena variação em torno de sua média, durante praticamente toda a vida da construção. A variabilidade das ações permanentes é medida num conjunto de construções análogas.
- ações variáveis: Ações que ocorrem com valores que apresentam variações significativas em torno de sua média, durante a vida da construção.

- ações excepcionais: Ações excepcionais são as que têm duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas.
- cargas acidentais: Cargas acidentais são as ações variáveis que atuam nas construções em função de seu uso (pessoas, mobiliário, veículos, materiais diversos etc.).

3 METODOLOGIA

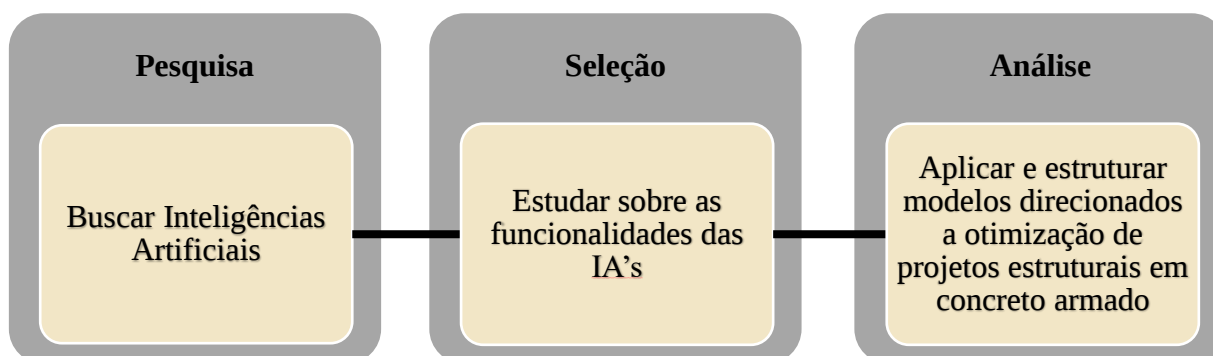
Esta pesquisa, de caráter aplicado e exploratório, busca integrar ferramentas de inteligência artificial (IA) no desenvolvimento de projetos de estruturas de concreto armado, com o objetivo de otimizar processos e assegurar conformidade com normas técnicas. O estudo inicia-se com uma revisão bibliográfica abrangente, que inclui a análise de artigos científicos, teses, dissertações e cursos relacionados ao uso da IA na engenharia estrutural. Essa etapa visa identificar o estado da arte das tecnologias de IA aplicadas ao concreto armado, destacando suas vantagens, limitações e potenciais áreas de aplicação.

Após a revisão, são selecionadas ferramentas de IA com maior potencial para auxiliar no projeto de estruturas de concreto armado, priorizando aquelas capazes de realizar cálculos estruturais, análise de materiais e otimização de projetos. Essas ferramentas são então testadas utilizando-se parâmetros normativos, com foco na norma NBR 6118:2023, que rege o dimensionamento de estruturas de concreto. A avaliação considera a precisão das respostas fornecidas pelas ferramentas em relação ao dimensionamento de elementos como pilares, vigas e lajes, além de verificar a adequação das soluções frente a condições ambientais específicas e cargas atuantes.

Os resultados obtidos, são analisados e validados de acordo com os critérios estabelecidos pelas normas técnicas de concreto armado, particularmente a NBR 6118:2023. Essa comparação permite avaliar a conformidade das soluções sugeridas pela IA com os requisitos normativos, além de verificar a eficiência das ferramentas em termos de precisão dos cálculos e aderência às normas.

Por fim, realiza-se uma síntese e discussão dos resultados, abordando as implicações práticas e teóricas da utilização de IA em projetos estruturais. O estudo explora o potencial dessas ferramentas para aumentar a eficiência dos projetos, bem como destaca os desafios e limitações de sua implementação em larga escala. Com base nos achados, são feitas recomendações para pesquisas futuras que possam aprofundar a integração da IA em projetos

de concreto armado, visando otimizar a segurança, durabilidade e sustentabilidade das construções.



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção subsequente serão avaliados *prompts* inseridos nas ferramentas de Inteligência Artificial de acordo com a sequência lógica do desenvolvimento de projetos de estruturas de concreto armado, avaliando a confiabilidade das respostas das IA para implementar nos processos e otimizar o tempo na fase preliminar e de análises.

4.2 Diretrizes gerais para projetos estruturais conforme IA

Neste subtópico serão abordados o resultado dos *prompts* inseridos nas IA's e suas respectivas conformidades com normas e trabalhos técnicos.

4.2.1 Especificações para a estrutura de uma escola

Inicialmente com intuito de saber dados preliminares para o projeto de uma estrutura de uma escola de maneira bem geral, foi-se inserido nas IA's: “Quais as especificações para as estruturas de concreto armado em uma construção escolar”, os resultados foram filtrados em recomendações de normas, requisitos gerais, especificações técnicas e qualquer informação adicional que venha contribuir para o projeto, os dados obtidos com as ferramentas estão descritos no Quadro 1, e todas informações referente a este quadro estão descritas no Apêndice 1.

Quadro 1: Diretrizes gerais para a estrutura de uma escola

IA	Normas	Requisitos gerais	Especificações técnicas	Inf. adicionais
Chat GPT	• NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento; • NBR 9050: Acessibilidade. • NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão; • NBR 9077: Saídas de emergência.	• Critérios de Segurança (ELU e ELS); • Carga e Sobrecarga (2,0 a 4,0 kN/m²).	• Resistência do Concreto (25 a 35 MPa); • Aço para Armaduras (CA-50 e o CA-60); • Classe de agressividade ambiental (I, II, III ou IV); • Cobrimento das armaduras (20 a 50 mm).	• Critérios de Sustentabilidade; • Acessibilidade e Ergonomia.
Gemini	• NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento; • Legislação local • Outras normas	• Segurança (ELU e ELS); • Durabilidade; • Conforto; • Acessibilidade; • Manutenção.	• Materiais (Aço, concreto) • Dimensionamento • Armaduras • Cobrimento • Execução • Proteção contra incêndio • Carregamentos • Acessibilidade • Acústica • Iluminação natural	• Análise de riscos; • Sustentabilidade; • Tecnologia.

			• Flexibilidade • Sustentabilidade	
Copilot	• NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento; • NBR 7191: Execução de Desenhos para Obras de Concreto Simples ou Armado; • NBR 7480: Aço Destinado a Armaduras para Estruturas de Concreto Armado - Especificação¹. • NBR 14931: Execução de Estruturas de Concreto - Procedimento.	-----	• Materiais (concreto, aço) • Execução (corte, dobra e montagem; • Controle de qualidade.	• Acessibilidade; • Vida útil do projeto;

Fonte: Autoria própria (2024)

O Quadro 1 traz informações apresentadas de acordo com o *prompt* de comando inserido nas ferramentas, cada um deles com algumas peculiaridades, mas com resultados convergentes. Dentre eles pode-se citar algumas especificações da NBR 6118:2023, que trata sobre os procedimentos para os projetos de estrutura, dentre outras, como sustentabilidade e acessibilidade, por se tratar de um *input* mais genérico. Mesmo se tratando de uma indagação as IA's sem muitos detalhes o Chat GPT se mostrou mais didático, trazendo informações mais detalhadas da NBR 6118:2023, retratando a importância de se atentar as diretrizes da norma com valores reais de acordo com a necessidade, como mostrado no documento normativo.

O uso da ferramenta para este fim específico das análises preliminares da fase de projetos estruturais, conforme apontado por Silva e Mairink (2019), possibilitou a produção e a otimização do tempo gasto na realização do trabalho a ser desempenhado.

4.2.2 Construção da escola em Areia Branca/RN

Partindo do pressuposto do *prompt* abordado no tópico anterior, o novo *input* inserido nas IA's foi de uma forma um pouco mais específica, pois se trata da construção de uma escola na cidade de Areia Branca/RN, na região litorânea, onde é necessária uma maior atenção devido à presença de sais no ambiente e à ação de agentes agressivos que podem comprometer a durabilidade das estruturas de concreto armado, caso não tome as decisões adequadas nas fases preliminares de projeto.

Para colher as informações foi inserido o seguinte *prompt* “Caso esta escola fosse ser construída na cidade de Areia Branca/RN quais as considerações deveriam ser feitas com base na resposta anterior para as estruturas em concreto armado”, as considerações de cada ferramentas estão descritas no Quadro 2, e detalhadas no Apêndice 2.

Quadro 2: Diretrizes adotadas para a Cidade de Areia Branca/RN

IA	Fatores ambientais	Medidas mitigadores das manifestações patológicas	Informações adicionais
Chat GPT	• Agressividade ambiental: • A classe de agressividade ambiental: CAA III (Forte), ou até mesmo CAA IV (Muito Forte) se a edificação estiver muito próxima à linha de costa; • Cobrimento: 4 a 5 cm. • Cuidado com água e o solo • A água utilizada no concreto deve ser isenta de cloretos; • o solo pode ter alta concentração de sais.	• Resistência do concreto; • Fck mínimo de 30 MPa; • Uso de material anti-corrosivo; • aço galvanizado; • Ventilação e aeração das estruturas; • Proteção contra intempéries. • revestimentos impermeabilizantes e pinturas especiais;	• Sustentabilidade. • Aproveitar o potencial de energia solar de Areia Branca
Gemini	• Alta umidade; • Ventos fortes; • Solos salinos ou com alta umidade;	• Concreto com dosagem adequada; • Armaduras resistente à corrosão; • Impermeabilização; • Ventilação;	• Acessibilidade; • Ventilação e iluminação natural; • Recomenda a contratação de um profissional

Copilot	• Solo • determinar a capacidade de suporte e escolher o tipo de fundação	• Análise geotécnica; • Fundações profundas; • solo arenoso ou instável • Resistência contra corrosão; • utilizar concretos com aditivos • Proteção contra umidade.	• Sustentabilidade e eficiência energética.
----------------	--	---	---

Fonte: Autoria própria (2024)

Todas as IA's abordaram dados condizentes com a cidade em estudo, pois como Areia Branca está situada numa região litorânea os cuidados com as estruturas em concreto armado devem ser cautelosos, pois, a depender da proximidade com o mar há uma maior concentração de agentes agressivos. Dentre estes pode-se citar os respingos de maré, umidade no solo, como também a umidade do ar, sendo todos esses parâmetros inimigos da durabilidade das estruturas em concreto armado.

Analizando o Quadro 2, o Chat GPT trouxe informações mais condizentes das diretrizes de projeto, pois abordou as classes de agressividade, cobrimentos das armaduras, resistência do concreto, e outras informações com valores reais dispostos na NBR 6118:2023. Como a finalidade da utilização destas ferramentas é uma maior produtividade e otimização de tempo, quanto mais detalhes fornecidos com precisão à ferramenta, melhor para a implementação na rotina de projeto, porém, tendo visão crítica dos resultados, não se pode confiar totalmente nos *outputs*, como é o exemplo do estudo de Neves *et al.* (2024), que entrou com 3 *prompts*, nos quais apenas um teve resultados satisfatórios e os demais apresentaram inconsistências e até mesmo erros.

4.2.3 Estudo de caso com *prompt* mais detalhado

Para a análise e comparação dos dados de saída foi utilizado o seguinte *input* no Chat GPT, Gemini e Copilot: “Caso haja um projeto estrutural de uma escola numa região litorânea, na qual se tenha uma grande incidência de respingos de maré, de acordo com a NBR 6118:2023, qual a classe de agressividade, a resistência, os cobrimentos entre outros parâmetros que se deve adotar para os projetos de estruturas, com intuito de dificultar o ataque dos agentes agressivos e evitar as manifestações patológicas?”. Os dados de *output* estão descritos a seguir no Quadro 3 e detalhados no Apêndice 3.

Quadro 3: Dados dos parâmetros de projeto para o estudo de caso

IA	Classe de Agressividade Ambiental	Resistência do concreto – fck	Cobrimento	Outros parâmetros
Chat GPT	CAA IV (Muito forte)	≥ 40 MPa (C40)	- Lajes: 40 mm - Elementos em geral: 50 mm	- Aditivos impermeabilizantes; - Fator água/cimento $\leq 0,45$
Gemini	CAA IV (Muito forte)	≥ 35 MPa (C35)	Cobrimento: 50 mm	- Baixo fator água/cimento; - Aditivos impermeabilizantes;
Copilot	CAA IV (Muito forte)	≥ 30 MPa (C30)	Cobrimento: 50 mm	- Aditivos impermeabilizantes; - Tipo de cimento: CP V-ARI RS, (Resistente a sulfatos).

Fonte: Autoria própria (2024)

As três IA's forneceram recomendações para um projeto estrutural em região litorânea com alta incidência de respingos de maré, conforme a NBR 6118:2023, porém com diferentes níveis de precisão.

O Chat GPT foi o mais preciso, sugerindo uma Classe de Agressividade Ambiental IV (Muito Forte) e um concreto com resistência mínima de 40 MPa. Ele também recomendou um fator água/cimento de até 0,45, cobrimento de 50 mm para elementos em geral e 40 mm para lajes, além de aditivos impermeabilizantes e adições minerais, como a sílica ativa. Também enfatizou a importância da compactação e cura adequadas, além de sugerir revestimentos protetores para aumentar a durabilidade contra a penetração de cloretos.

O Gemini apresentou recomendações mais genéricas, indicando uma resistência mínima de 35 MPa, apresentando divergências com a norma sobre a classe de agressividade adotada (CAA IV), e cobrimento de 50 mm. Embora tenha mencionado o uso de aditivos impermeabilizantes e inibidores de corrosão, faltaram detalhes sobre o fator água/cimento e outros parâmetros de durabilidade, tornando as informações menos detalhadas.

Por fim, o Copilot recomendou um concreto com resistência mínima de 30 MPa, que está abaixo do exigido pela NBR 6118:2023 para a Classe IV. Além disso, sugeriu o uso de cimento resistente a sulfatos (CP V-ARI RS) e aditivos impermeabilizantes, mas também forneceu informações mais generalizadas e não tão adequadas às necessidades normativas, com menos detalhamento das diretrizes de durabilidade.

Em suma, o Chat GPT apresentou as recomendações mais alinhadas com as normas e adequadas ao estudo de caso.

4.3 Vigas

Neste subtópico serão abordados o resultado dos *prompts* inseridos nas IA's e suas respectivas conformidades com normas e trabalhos técnicos sobre o estudo de vigas.

4.3.1 *Prompt* mais geral sobre vigas

Como visto, as IA's fornecem *outputs* de um banco de dados interno que podem auxiliar no desempenho de atividades para otimização do tempo e outras necessidades desde que se tenha uma visão crítica das respostas. Como demonstrado nas seções anteriores é possível coletar dados confiáveis, onde iniciando a análise de elementos estruturais, no caso vigas, foi inserido um *prompt* mais geral, “Qual altura de viga usar no quarto de uma casa”.

As três ferramentas retornaram alguns dados que podem ser analisados no Quadro 4 e no Apêndice 4.

Quadro 4: Altura da viga para um quarto residencial

IA	Análises	Altura	Exemplo	Informações adicionais
Chat GPT	• Vão livre	• Vão/10; • Vão/12.	• Vão de 4m: $4/10 = 0,4\text{m} = 40\text{ cm}$ $4/12 = 0,33\text{m} = 33\text{cm}$	----
Gemini	• Vão Livre; • Carga; • Material.	• Vão/10	• Vão de 4m: $4/10 = 0,4\text{m} = 40\text{ cm}$	• Consultar um engenheiro; • Preza pela segurança.
Copilot	• Vão livre	• Vão/10	• Vão de 4m: $4/10 = 0,4\text{m} = 40\text{ cm}$	• Recomendação: Consultar um engenheiro;

Fonte: Autoria própria (2024)

As ferramentas de IA abordadas elas estão disponíveis para todo usuário que tenha acesso a internet, hoje em dia podem ser usadas profissionalmente, como também podem ser usadas por pessoas leigas que pretendem construir algo, como por exemplo uma viga e pedem sugestões. De modo mais geral as três IA's forneceram respostas esperadas sobre analisar o vão da viga, e mostraram cálculos de alturas que são usadas em pré-dimensionamento como mostra os estudos de Pinheiro, Muzardo e Santos (2004), e além do mais, forneceram exemplos de como se obter as alturas.

Divergentemente ao Gemini e Copilot, o Chat GPT não recomenda uma análise mais detalhada da viga por um profissional habilitado, isso pode ser um fator de risco, pois pessoas que buscam informações técnicas sem custos podem utilizar esses dados e trazer um risco a segurança da edificação, se construída com os valores fornecidos. O aviso não é uma garantia que o usuário siga as recomendações, mas é uma orientação dos riscos que podem ocorrer ao não consultar um profissional técnico.

4.3.2 Análise de vigas com especificações

Diante o exposto na seção 2.6.1 sobre altura de vigas, foi inserido um *prompt*: “Quais as especificações para construção de uma viga de um quarto na cidade de Brejo do Cruz/PB”, com intuito de detalhar quais análises deveriam ser levadas em consideração para a fase de projeto. Os *outputs* das ferramentas estão detalhados no Quadro 5 e demonstradas no Apêndice 5.

Quadro 5: especificações para análise de vigas na cidade de Brejo do Cruz/PB

IA	Aspectos da cidade	Considerações	Informações adicionais
Chat GPT	• Clima semiárido: ambiente seco; • Elevadas temperaturas; • Pouca incidência de vento;	• Classe de Agressividade II; • Cobrimento da armadura de 3 cm; • Qualidade dos materiais para se atentar a fissuração devido ao calor	• Sistemas construtivos locais: alvenaria de bloco cerâmico; • Qualidade dos materiais; • Uso de vigas de 15x30 cm é comum, padrão mais baixo.
Gemini	• Umidade; • Chuvas • Vento; • Tipo de solo; • Lençol freático; • Ações sísmicas.	• Materiais disponíveis; • Normas técnicas; • Custo; • Manutenção; • Estética.	• Consultar um engenheiro; • Utilizar materiais de qualidade;
Copilot	• Clima semiárido: ambiente seco; • Tipo de solo.	• Estrutura resistente a altas temperaturas e baixa umidade; • Cargas; • Resistência ao desgaste; • Normas e regulamentações técnicas; • Ventilação e isolamento térmico.	• Materiais de boa qualidade; • Manutenção regular.

Fonte: Autoria própria (2024)

Dentre as três ferramentas, o Chat GPT foi mais preciso no que se refere a um projeto na cidade especificada, considerando que o intuito da pesquisa é otimização de tempo em parâmetros que podem ser detalhados por uma IA. O Chat GPT forneceu o clima, temperatura e incidência de vento adequado para a cidade em análise, como também a classe de agressividade do ambiente e outras especificações que constam na NBR 6118:2023.

As outras ferramentas trouxeram informações, mas não foram o resultado esperado, pois as respostas foram mais gerais acerca do estudo, fazendo uma outra análise a partir dos pontos mostrados pelo Gemini e Copilot. O Chat GPT em comparação com as demais se sobressaiu e mostrou-se uma ferramenta que com os comandos certos, pode sim ser implementado em projetos para otimização de tempo.

4.3.3 Dimensionamento de vigas

Para o caso de dimensionamento de vigas com as IA's, o *prompt* inserido nas ferramentas foi o seguinte: “Pré-dimensione e dimensione uma viga bi-apoiada em pilares (15x30), com vão de 6m, e uma parede de 2,70m acima, calcular momento, área de aço e detalhamento, utilizando um f_{ck} de 25 MPa e classe de agressividade ambiental IV”, os dados obtidos do cálculo dos momentos, área de aço e algumas outras informações adicionais estão no Quadro 6 e detalhadas no Apêndice 6.

Quadro 6: cálculo da área de aço para uma viga

IA	Pré-dimensionamento (cm)	M _{max} (kN.m)	As (cm ²)	Detalhamento
Chat GPT	Base = 20 cm Altura = 60 cm	46,31	2,16	3 barras de 10 mm
Gemini	Base = 25 cm Altura = 60 cm	----	----	----
Copilot	Base = 20 cm Altura = 60 cm	46,30	2,17	2 barras de 12,5 mm
Cálculo analítico	Base = 15 cm Altura = 60 cm	46,48	1,99	3 barras de 10 mm Ou 2 barras de 12,5 mm

Fonte: Autoria própria (2024)

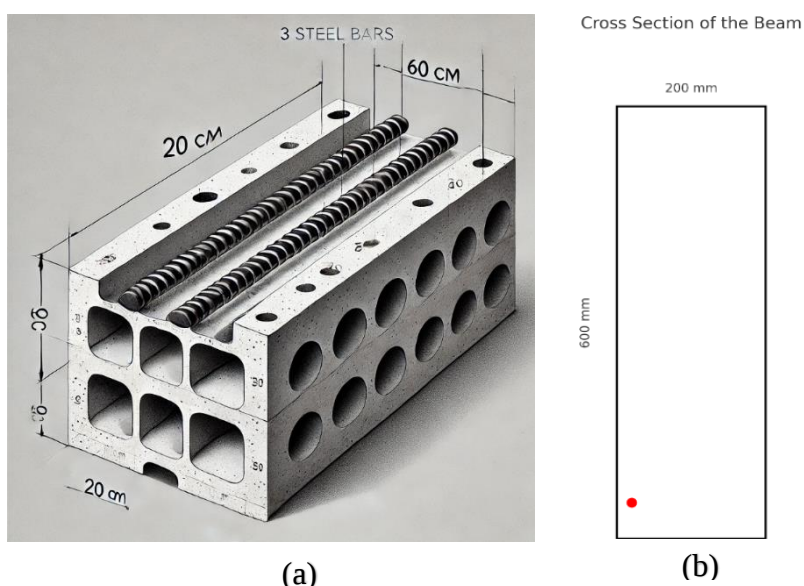
Para o elemento estrutural viga, ao ser solicitado com um *prompt* mais detalhado, as ferramentas se mostraram com resultados promissores. Com exceção do Gemini, que se mostra muito conservador no cálculo de elementos estruturais, o Chat GPT e o Copilot mostraram cálculos semelhantes com o calculado manualmente, e em seu detalhamento de armaduras mostraram arranjos condizentes com as técnicas empregadas nos cálculos.

Para uma análise inicial, de modo comparativo, o Chat GPT e o Copilot nesse aspecto podem ser utilizados para otimização de tempo com sua implementação em projetos e análises de estruturas de concreto armado.

4.3.4 Crie figuras detalhada da viga

Logo em seguida, foi solicitado ao Chat GPT, única ferramenta entre as três que cria imagens, que gerasse uma imagem da viga com sua seção transversal, com as mesmas informações que foram mostradas. A Figura 4(a) foi um *prompt* geral, já a Figura 4(b) foi um complemento do *prompt* geral com acréscimo da seção transversal da viga. As vigas estão mostradas na Figura 4.

Figura 4: viga gerada pelo Chat GPT



Fonte: Chat GPT (2024)

Pode-se perceber que a imagem gerada não condiz com os dados fornecidos e discorda com a realidade da construção civil, principalmente na Figura 4(a) que é um *design* bem peculiar. Na Figura 4(b) houve uma tentativa de fornecer a seção transversal mais condizente

com a realidade, com uma barra detalhada na parte inferior da viga, porém, foi fornecido um *input* com duas barras.

Logo em seguida, para a mesma viga mostrada no cálculo do Chat GPT, foi inserido um *prompt* mais detalhado com as informações da viga: “Para uma viga com um vão de 6 metros, largura de 200 mm e altura de 600 mm, altura útil de 500 mm, e considerando uma parede de 2.7 metros de altura acima da viga, o pré-dimensionamento da área de aço resulta em aproximadamente 233.3 mm². Utilizando barras 3 de 10 mm de diâmetro crie uma imagem com essas informações em um plano cartesiano”, como visto na Figura 5.

Figura 5: informações da viga com mais detalhes



Fonte: Chat GPT (2024)

É notório que para criar figuras o Chat GPT não se mostrou eficiente, mas é possível perceber que quanto maior o nível de detalhes nos *prompts* inseridos, é possível ter informações condizentes com a realidade, como pode-se perceber num comparativo entre as Figuras 4 e 5.

4.4 Lajes

Neste subtópico serão analisados o resultado dos *prompts* inseridos nas IA's e suas respectivas conformidades com normas e trabalhos técnicos.

4.4.1 Escolha do tipo de laje

Inicialmente com intuito de obter dados preliminares para o projeto de construção de uma laje, perguntou-se as ferramentas de IA “Qual tipo de laje mais indicada para uma edificação residencial de baixo padrão”, os dados obtidos estão mostrados no Quadro 7 e detalhados no Apêndice 7.

Quadro 7: escolha do tipo de laje

IA	Opções de lajes	Considerações técnicas e econômicas	Informações adicionais
Chat GPT	• Laje treliçada • EPS; • Bloco cerâmico.	• Custo; • Facilidade de execução; • Leveza; • Isolamento térmico e acústico (EPS); • Adaptação a pequenas edificações.	• Opção da laje maciça: custo mais elevado devido ao consumo de concreto e armaduras
Gemini	• Laje treliçada • Laje pré-moldada	• Vão livre; • Carregamento; • Orçamento; • Prazo de execução.	• Uso de materiais locais: redução de custo com transporte; • Consultar um profissional qualificado;
Copilot	• Laje treliçada • EPS; • Bloco cerâmico.	• Isolamento térmico e acústico (EPS); • Facilidade de execução; • Redução de custos.	---

Fonte: Autoria própria (2024)

Como foi fornecido um *prompt* para saber o tipo de laje mais indicada para uma residência de baixo padrão, as três ferramentas convergiram para a mesma resposta, laje treliçada, seja de bloco cerâmico ou de EPS como enchimento. Além de uma resposta assertiva sobre o tipo de laje, o Chat GPT, Gemini e o Copilot ainda forneceram dados sobre as vantagens da utilização da laje treliçada. Outro ponto interessante foi o comparativo que o Chat GPT fez da laje treliçada em relação a laje maciça que vai de encontro com a pesquisa de Oliveira (2022), na qual o autor faz uma análise comparativa entre a laje maciça e

treliçada, e todos os dados fornecidos pelas IA's condizem com os levantados em seu trabalho.

4.4.2 Pré-dimensionamento de lajes

Sabe-se que as IA's são eficientes em alguns casos devido seu alto nível de informações, ou seja, do aprendizado de máquina que foram submetidos até serem disponibilizadas para acesso universal. O teste submetido para as ferramentas agora tem como *prompt*: “Pré-dimensionamento de uma laje maciça em concreto armado com dimensões de 4x4m”, os dados obtidos como respostas pelas três ferramentas estão mostrados no Quadro 8 e detalhado no Apêndice 8.

Quadro 8: Pré-dimensionamento de laje

IA	Cálculo da Altura	Altura	Informações adicionais
Chat GPT	$h = \text{Vão}/30$	$h = 4\text{m}/30 \approx 14 \text{ cm}$	Cargas: - Permanentes: $4,5 \text{ kN/m}^2$ (Peso próprio e revestimento); - Sobrecarga: $2,0 \text{ kN/m}^2$ (Residencial) Momento: $M = 13 \text{ kN.m}$ Área de aço: $A_s = 2,7 \text{ cm}^2/\text{m}$ Escolha das barras de aço: $\varnothing = 8,0 \text{ mm}$ - Espaçamento: 19 cm $\varnothing 8.0 \text{ C}/19$ (Base para um pré-dimensionamento, deverá ser feita análises mais detalhadas para o projeto final)
Gemini	----	----	Consultar um profissional habilitado para atender as normas técnicas
Copilot	$h = \text{Vão}/30$	$h = 4\text{m}/30 \approx 14 \text{ cm}$	Cargas: $5,0 \text{ kN/m}^2$

			• Momento: • $M = 10 \text{ kN.m}$ • Área de aço: • $A_s = 2,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ • Escolha das barras de aço: • $\varnothing = 10,0 \text{ mm}$ • Espaçamento: 3barras/m = 33 cm • $\varnothing 10.0 \text{ C}/33$ • (Cálculos preliminares, devem ser ajustados por um engenheiro civil)
Manual	$h = d + \frac{\varnothing}{2} + c$ $d = (2,5 - 0,1 * n) * \frac{1}{100}$ $h \approx 10 \text{ cm}$		----

Fonte: Autoria própria (2024)

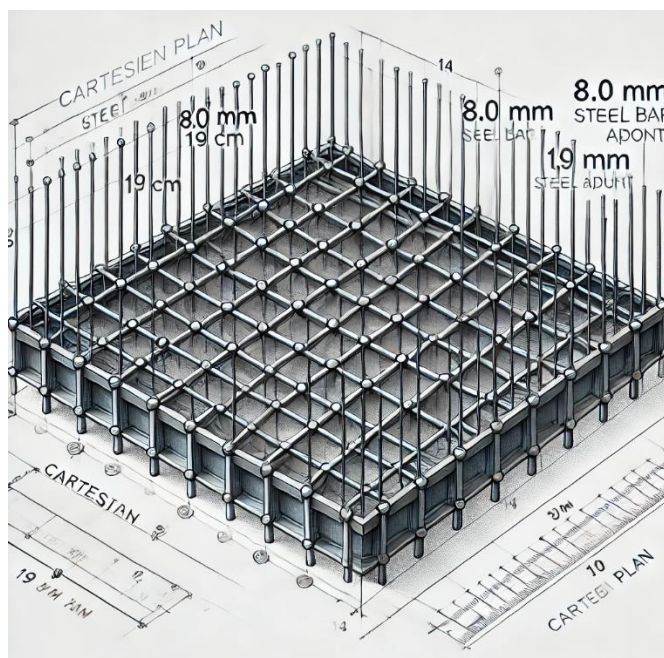
Inicialmente vale salientar que o Gemini foi mais conservador e não forneceu nenhum cálculo de pré-dimensionamento, apenas recomendou a consulta de um profissional habilitado. Por outro lado, o Chat GPT e o Gemini forneceram basicamente os mesmos dados, onde pode-se concluir que as informações foram coletadas no mesmo banco de dados. Além disso, os dados só divergiram quando as IA's decidiram calcular área de aço das lajes e indicar o detalhamento.

Os dados foram comparados com cálculo manuais, sendo o método utilizado para o pré-dimensionamento o de Pinheiro, Muzardo e Santos (2004). Quando se compara os resultados, verifica-se uma diferença de 4cm na altura da laje, valor este considerável, porém próximo quando se trata de uma análise preliminar. Os cálculos do Chat GPT e do Copilot vão de encontro com os dados de Alva (2008).

4.4.3 Crie figuras detalhada da laje

Logo em seguida, foi solicitado ao Chat GPT, que gerasse uma imagem da laje com sua seção transversal, com as mesmas informações que foram mostradas no pré-dimensionamento do Quadro 8. A laje está mostrada na Figura 6.

Figura 6: detalhamento da Laje



Fonte: Chat GPT (2024)

A Figura criada ainda tem traços do detalhamento de uma laje, porém, é uma imagem muito confusa, não era exatamente o que se esperava no detalhamento da laje.

4.5 Pilares

Neste subtópico serão avaliados os resultados dos *prompts* inseridos nas IA's para o estudo de pilares e suas respectivas conformidades com normas e trabalhos técnicos.

4.5.1 Parâmetros de análises de pilares na fase de projetos

Partindo para o elemento estrutural do tipo pilar, de maneira geral, foi inserido nas ferramentas o seguinte *prompt* “Dimensionamento de um pilar para uma casa de dois pavimentos no centro de Caraúbas/RN”, as respostas dadas pelas IA's estão no Quadro 9 e detalhadas no Apêndice 9.

Quadro 9: Parâmetros de análises para pilares na fase de projeto

IA	Etapas de dimensionamento	Informações adicionais
Chat GPT	• Levantamento das cargas atuantes: • Permanentes • Acidentais • Vento • Esforços solicitantes: • Momento • Cortante • Esforço normal • Dimensionamento • Definir as dimensões dos pilares; • Cálculo da área de aço; • Verificação das tensões de compressão; • Verificação da esbeltez.	• Verificação da estabilidade global • Detalhamento
Gemini	• Levantamento de dados; • Cálculo dos esforços; • Escolha da seção; • Cálculo da área de aço; • Verificação dos estados limites;	• Recomendação de dimensionamento por um engenheiro civil

	• Detalhamento das armaduras	
Copilot	• Cálculo da carga; • Área de influência • Dimensões mínimas; • Pré-dimensionamento; • Verificações estruturais.	• Recomendação de dimensionamento por um engenheiro civil

Fonte: Autoria própria (2024)

De modo geral as três IA's forneceram dados assertivos sobre os parâmetros que devem ser analisados no dimensionamento de um pilar, indo de acordo com a NBR 6118:2023 e de dados disponíveis na literatura, como é o exemplo dos estudos de Bastos (2017). O Gemini e o Copilot ainda recomendaram que para a segurança é imprescindível a consulta de um profissional habilitado para garantir a segurança e estabilidade.

4.5.2 Dimensionamento de pilar

Partindo para uma análise mais específica de pilares, como *prompt* foi fornecido as IA's: "Dimensionamento de pilar com carga de 450 kN, com seções 15X30 cm com f_{ck} de 25 MPa e com vão entre pilares de 4m", os dados de *output* estão mostrados no Quadro 10 e detalhado no Apêndice 10.

Quadro 10: dimensionamento de pilar

IA	Índice de esbeltez	Área de aço	Detalhamento	Informações adicionais
Chat GPT	• $\lambda_y = 92,38$	• $A_s = 14,67 \text{ cm}^2$ (não há necessidade de armadura) • $A_{smin} = 0,675 \text{ cm}^2$	• 4 barras de 8,0 mm	----
Gemini	----	• A seção resiste a carga de compressão	----	• Recomenda um engenheiro civil para o cálculo
Copilot	• $\lambda_x = 46,13$	• $A_s = 10,34 \text{ cm}^2$	----	• Recomenda um engenheiro civil para o cálculo
Manual	• $\lambda_x = 46,13$ • $\lambda_y = 92,26$	• $A_s = 20,7 \text{ cm}^2$	• 4 barras de 25,0 mm	

Fonte: Autoria própria (2024)

O cálculo analítico do pilar foi feito segundo Bastos (2017), seguindo os procedimentos da NBR 6118:2023. Fazendo uma análise comparativa das três IA's,

inicialmente o Chat GPT foi assertivo no índice de esbeltez, mas calculando apenas em uma direção. O Gemini não fez nenhum cálculo, e o Copilot fez o cálculo apenas da maior direção.

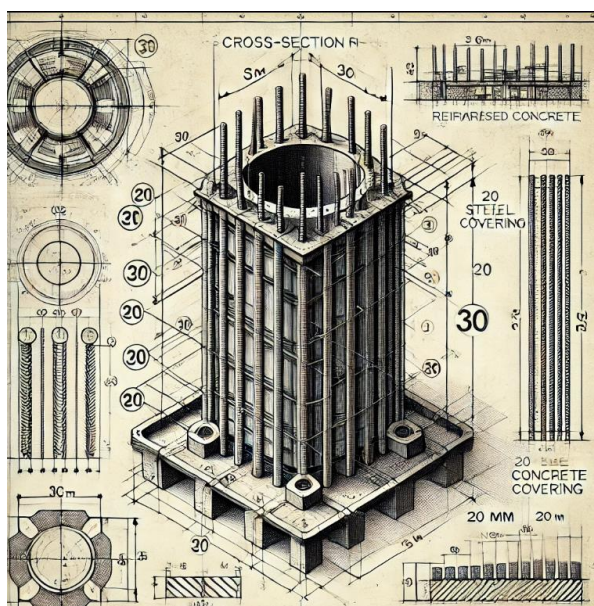
Em uma análise comparativa do cálculo da área de aço, o Chat GPT e o Gemini afirmaram que apenas a própria seção resistia aos esforços solicitantes, possivelmente o Copilot obtivesse o resultado obtido por cálculo analítico se tivesse utilizado a esbeltez corretamente. Além disso, o detalhamento feito apenas pelo Chat GPT não é condizente com a realidade, pois a seção mínima das bitolas de aço para os pilares de acordo com a NBR 6118:2023 é de 10,0 mm.

Como mostrado nos outros casos, o Gemini sempre recomendando a consulta de um profissional habilitado, assim como o Copilot para alguns casos.

4.5.3 Crie figuras detalhada do pilar

Logo em seguida, foi solicitado ao Chat GPT, que gerasse uma imagem do pilar para levar para uma obra de engenharia civil, com as mesmas informações que foram mostradas no pré-dimensionamento do Quadro 10. O pilar gerado pela IA está mostrada na Figura 7.

Figura 7: desenho do pilar



Fonte: Chat GPT (2024)

Pode-se perceber que o Chat GPT é muito didático para apresentar informações com um bom nível de precisão, porém para criar imagens dos detalhes que são mostrados não é uma boa escolha quando se trata em imagens de elementos estruturais.

4.5.4 Dimensões dos pilares de acordo com a quantidade de pavimentos

Nesta seção será abordado um estudo sobre a dimensões de pilares mais usuais em função da quantidade de pavimentos, foi inserido um *prompt* “quais as dimensões usuais de pilares de acordo com a quantidade de pavimentos”, as respostas estão descritas no Quadro 11 e detalhadas no Apêndice 11.

Quadro 11: dimensões usuais de pilares de acordo com a quantidade de pavimentos

IA	Dimensões dos pilares	Informações adicionais
Chat GPT	• Até 4 pavimentos • 25x25cm • 20x30cm • 5 a 8 pavimentos • 25x40cm • 30x30cm • 30x40cm • Acima de 8 pavimentos • 40x40cm • 40x60cm • A depender das solicitações	• São dimensões indicativas, devem ser confirmadas com cálculos estruturais de acordo com as normas
Gemini	• Não existe regra única para as dimensões de pilares de acordo com a quantidade de pavimentos	• Menor dimensão é de 14 cm; • Área mínima da seção do pilar é de 360 cm²
Copilot	• Até 4 pavimentos • 19x19cm • 5 a 10 pavimentos • 25x25cm • 11 a 20 pavimentos • 30x30cm • Acima de 20 pavimentos • 40x40cm	----

Fonte: Autoria própria (2024)

O Gemini, a ferramenta mais conservadora, não forneceu nenhuma seção típica, no entanto, apresentou dados que concordam com a NBR 6118:2023. Os dados apresentados foram acerca da dimensão mínima utilizada para casos específicos, as quais devem ser acompanhadas de coeficiente de ponderação, e sobre a área da seção mínima que é de 360 cm².

As seções do Copilot foram um pouco menores em comparação ao Chat GPT, mas mesmo assim todas dentro dos requisitos normativos. Além disso, esses dados são apenas de pré-dimensionamento de pilares em função da quantidade de pavimentos, por isso o Chat GPT informa que são “São dimensões indicativas, devem ser confirmadas com cálculos estruturais de acordo com as normas”, mas servem de base para uma boa concepção estrutural para diminuir alterações na fase de dimensionamento e análise estrutural, buscando um arranjo com a melhor otimização possível da estrutura.

4.6 Combinação de ações

Ao longo do período de vida útil das construções são diversas as ações que estão presentes, gerando esforços adicionais que devem ser considerados nos cálculos da fase de projeto. Por isso, tem-se a importância de combinar ações permanentes com variáveis, pois há diversas combinações usuais de que podem ser adotadas nos cálculos para obter os esforços solicitantes mais condizentes com a realidade, obtendo-se um projeto técnico e econômico.

Diante do exposto, foi-se inserido *prompts* sobre quais combinações são mais usuais de acordo com as normas vigentes, o *prompt* inserido nas ferramentas foi: “Quais combinações devem ser feitas nos projetos estruturais, mostrando as particularidades de edifícios altos e pequenos, para garantir uma segurança estrutural adequada e de acordo com a realidade, quais os coeficientes de ponderações utilizados para os casos específicos das normas, por fim fazer um resumo das combinações mais usuais nos projetos estruturais”. Os dados estão mostrados no Quadro 12 e detalhados no Apêndice 12.

Quadro 12: Combinação de ações

IA	Tipos de ações	Combinações	Informações adicionais
Chat GPT	• Permanentes (G) • Variáveis (Q) • Excepcionais (E)	• Estado limite último • Combinação Normal; $1,4 \cdot G + 1,4 \cdot Q$ • Combinação acidental; $G + \psi_1 \cdot Q + \psi_2 \cdot E$ • Combinação com ações excepcionais (terremoto); $G + E$ • Estado limite de serviço • Combinação quase permanente; $G + \psi_2 \cdot Q$ • Combinação frequente. $G + \psi_1 \cdot Q$	• Edifícios Altos: • Vento; • Frequência e Excentricidade: (torção). • Edifícios Pequenos: • Sobrecargas de Uso; • Menor Influência de Vento; • Os coeficientes podem variar de acordo com a NBR 8681;
Gemini	• Permanentes (G) • Variáveis (Q)	• Estado limite último • Última; $\gamma_G = 1,0$ e $\gamma_Q = 1,0$ • Estado limite de serviço • Característica (Fissuração);	• Edifícios Altos: • Vento; • Edifícios Pequenos: • Ações permanentes e acidentais. • Os coeficientes podem variar de acordo com a NBR 8681;

		$\gamma_G = 1,0$ e $\gamma_Q = 0,3$ - Quase permanente (Fluência); $\gamma_G = 1,0$ e $\gamma_Q = 0,2$ - Rara (Vibração). $\gamma_G = 1,35$ e $\gamma_Q = 1,5$	Necessário um bom entendimento do engenheiro calculista.
Copilot	- Permanentes (G) - Variáveis (Q) - Acidentais (A)	Estado limite último - Combinação Normal; $1,4 \cdot G + 1,4 \cdot Q$ - Combinação de vento (W); $1,4 \cdot G + 1,4 \cdot W$ - Combinação de sismo; $1,2 \cdot G + 1,2 \cdot W + A$ Estado limite de serviço - Combinação de serviço $G + Q$	Edifícios Altos: - Vento; - Peso próprio da estrutura; - Ocupação; - Impactos Edifícios Pequenos: - Ações permanentes e acidentais. - Peso próprio da estrutura; - Ocupação; - Impactos.

Todas as IA's observaram as verificações dos estados limites como recomenda a NBR 8681:2004. Sobre os tipos de ações, apenas o Gemini não retratou as cargas excepcionais, se restringindo apenas às permanentes e variáveis.

A NBR 8681:2004 traz diversas combinações para variadas situações com seus respectivos coeficientes de ponderação, as três ferramentas apresentaram valores que constam na norma, e apresentaram as combinações mais usuais para os edifícios altos e pequenos, com diversos pontos em comum, como as considerações de vento para os edifícios altos. As IA's se mostraram como ferramentas de auxílio para busca no quesito combinação de ações, mesmo de maneira genérica é uma forma de auxílio para a otimização de tempo nesta fase de projeto.

Na maioria dos casos o Chat GPT traz informações mais precisas. Conforme verificado por Neves *et al.* (2024), o teste de compreensão realizado com o ChatGPT evidenciou uma capacidade satisfatória da aplicação em compreender e responder adequadamente a consultas específicas no contexto da Engenharia Civil.

4.7 Sugestão de verificações a serem realizadas na fase de análise de projetos

As respostas apresentadas pelo Chat GPT, Gemini e Copilot foram semelhantes, apenas com poucas peculiaridades de uma ferramenta para outra. As análises propostas sobre os elementos estruturais em um projeto foram apresentadas a partir do *prompt*: “Fazer um checklist De acordo com as normas de projetos de estruturas e com as literaturas que tratam sobre o assunto, quais verificações dos estados de limites últimos e de serviço o engenheiro calculista deve se atentar na fase de análise dos elementos estruturais de um projeto para garantir a segurança estrutural e viabilidade técnica e econômica”. Abaixo, no Quadro 13, está uma sugestão de checklist das verificações realizadas em um projeto estrutural, dividida em Estados Limite Últimos (ELU) e Estados Limite de Serviço (ELS):

Quadro 13: *checklist* das verificações a serem feitas no projeto estrutural

Estados Limite Últimos (ELU)	Estados Limite de Serviço (ELS)	Análise de execução
• Resistência à Flexão: • Verificar se a seção resiste aos esforços solicitantes de momento fletor. • Verificar a armadura mínima e máxima necessária. • Resistência ao Cisalhamento (Força Cortante): • Checar a resistência da seção ao cisalhamento. • Considerar a necessidade de armaduras adicionais para resistir ao cisalhamento. • Resistência à Torção: • Avaliar se a seção resiste aos esforços de torção aplicados. • Determinar se é necessário reforço adicional para a torção. • Estabilidade Global:	• Limitação de Deformações (Flechas): • Verificar as deformações excessivas (flechas) para garantir que estejam dentro dos limites normativos. • Limitação de Fissuração: • Avaliar a fissuração para assegurar que não comprometa a durabilidade ou o desempenho estético da estrutura. • Vibrações: • Verificar a suscetibilidade a vibrações excessivas, especialmente em lajes e pisos. • Deslocamentos Horizontais: • Analisar os deslocamentos horizontais (drift) em estruturas altas para garantir a estabilidade e o conforto dos usuários.	• Durabilidade: • Analisar o ambiente de exposição para determinar as medidas de proteção necessárias contra a corrosão e outros fatores de deterioração. • Considerações Econômicas e Técnicas • Otimização de Materiais: • Verificar se o dimensionamento está otimizado para minimizar o uso de materiais sem comprometer a segurança. • Facilidade de Execução: • Avaliar a viabilidade técnica e a facilidade de execução das soluções propostas.

• Verificar a estabilidade global da estrutura (pórticos, lajes, vigas, pilares). • Avaliar a possibilidade de flambagem dos elementos estruturais. • Verificação de Puncionamento: • Analisar o puncionamento em lajes, especialmente em regiões de apoio de pilares. • Verificação de Ruptura por Compressão: • Avaliar o risco de ruptura por compressão em pilares e outras áreas de compressão. • Resistência ao Fogo: • Verificar a conformidade com as normas de resistência ao fogo. • Verificação de Ancoragem e Aderência das Armaduras: • Avaliar se as ancoragens das armaduras estão adequadas para suportar as cargas.	• Verificação de Desempenho Térmico e Acústico: • Considerar os requisitos de desempenho térmico e acústico, quando aplicável. • Desempenho em Longo Prazo (Recalque e Fluência): • Avaliar o recalque diferencial e os efeitos de fluência ao longo do tempo.	• Compatibilidade com Outros Sistemas: • Garantir que o projeto estrutural seja compatível com as instalações e outros sistemas do edifício. • Verificação de Custos: • Considerar o impacto econômico das escolhas de materiais e métodos construtivos.
---	---	---

Esse checklist deve ser utilizado como um guia durante a fase de análise para assegurar que todos os aspectos críticos de segurança, durabilidade e viabilidade econômica sejam considerados.

Além desses pontos em comum, o Copilot ainda acrescentou as seguintes considerações adicionais:

1. Coeficientes de Segurança:

Aplicar coeficientes de segurança adequados para materiais e ações.

2. Combinações de Ações:

Utilizar combinações de ações adequadas para ELU e ELS.

3. Vida Útil:

Projetar a estrutura para a vida útil desejada, considerando manutenção e reparos

Por fim, o Gemini elaborou uma planilha em espécie de checklist com as análises a serem verificadas na fase das verificações de projeto.

Quadro 14: verificações de projeto

Verificação	Estado Limite	Objetivo	Norma de Referência
Resistência à flexão	ELU	Garantir que a seção resista aos momentos fletores	NBR 6118
Resistência ao cisalhamento	ELU	Garantir que a seção resista às forças cortantes	NBR 6118
Resistência à compressão	ELU	Garantir que a seção resista aos esforços normais de compressão	NBR 6118
Estabilidade global	ELU	Verificar a estabilidade da estrutura como um todo	NBR 6118
Estabilidade local	ELU	Verificar a estabilidade de elementos individuais (flambagem)	NBR 6118
Abertura de fissuras	ELS	Limitar a abertura das fissuras para evitar a corrosão das armaduras	NBR 6118
Deformações excessivas	ELS	Limitar as deformações para evitar problemas funcionais e estéticos	NBR 6118
Vibrações	ELS	Garantir o conforto dos usuários e evitar	NBR 6118

		danos aos equipamentos	
Durabilidade	ELS	Garantir a vida útil da estrutura	NBR 6118

Fonte: Gemini (2024)

As ferramentas se mostraram bem específicas quando se tratava das verificações de projeto, trazendo diversas análises com embasamento na NBR 6118:2023. Sobre os parâmetros a serem verificados, apresentou-se alguns mais específicos, porém irá depender do nível de exigência do projeto, o local e suas particularidades para uma melhor análise e garantia da segurança dos projetos em estruturas de concreto armado.

4.8 Protocolo de elaboração de projeto de estruturas com o auxílio de IA

Nesta seção será apresentado um protocolo que apresenta um roteiro organizado em fases para o uso de ferramentas de IA no desenvolvimento de projetos de concreto armado. Cada fase inclui um prompt específico e a ferramenta de IA recomendada, com justificativas claras para a sua escolha. O Quadro 15 mostra os *prompts* indicados para cada fase de projeto.

Quadro 15: Protocolo para elaboração de prompt para os projetos de estrutura de concreto armado

Fase do projeto	Prompt	Ferramenta indicada	Motivo
Estudos preliminares (Parâmetros de projeto)	Projeto estrutural de uma edificação (especificar a edificação), na cidade (cidade), na qual se tenha um ambiente (classificar o tipo de ambiente), de acordo com a NBR 6118:2023, qual a classe de agressividade, a resistência, os cobrimentos entre outros parâmetros que se deve adotar para os projetos de estruturas, com intuito de dificultar o ataque dos agentes agressivos e evitar as manifestações patológicas?	Chat GPT	Otimização de tempo, por motivo da adequação geográfica do ambiente alinhada com os parâmetros de norma
Pré-Dimensionamento de vigas	Pré-Dimensionamento e dimensione uma viga (tipo de vinculação) em pilares (seção do pilar), com vão de (tamanho do vão), e uma parede de (altura da parede) acima, calcular momento, área de aço utilizando um fck de (valor do fck) e classe de agressividade ambiental (especificar a classe de agressividade)?	Chat GPT e Copilot	Esta análise é muito interessante no ponto de vista otimização das seções e verificações se o elemento estrutural. Com o pré-dimensionamento bem elaborado, há grande chance de redução de trabalho nas etapas subsequentes, gerando uma economia de tempo.
Escolha do tipo e pré-	Qual tipo de laje mais indicada para uma edificação (tipo	Chat GPT e	A escolha do tipo de laje adequada

dimensionamento de lajes	da edificação), com vãos de (tamanho dos vãos) e pré-dimensione a laje escolhida?	Copilot	ao tamanho dos vãos é uma medida bastante importante a ser tomada, devido a análise econômico das lajes por suas peculiaridades, seguidos do seu pré-dimensionamento, pois ao lançar nos softwares o elemento pré-dimensionado é uma grande chance de sair tudo certo.
Etapa de verificações dos elementos estruturais	Fazer um <i>checklist</i> de acordo com as normas de projetos de estruturas e com as literaturas que tratam sobre o assunto, sobre quais verificações dos estados de limites últimos e de serviço o engenheiro calculista deve se atentar na fase de análise dos elementos estruturais de um projeto para garantir a segurança estrutural e viabilidade técnica e econômica?	Chat GPT, Gemini e Copilot	Os projetos de estruturas de concreto armado envolvem análises complexas de seus elementos, o que pode aumentar o risco de esquecer alguma verificação essencial. No entanto, ao dispor de uma lista organizada com todas as verificações necessárias, as chances de sucesso do projeto aumentam, pois, a disponibilidade dessas informações reduz a probabilidade de erros.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implementação de ferramentas de IA em projetos de estruturas de concreto armado demonstrou um grande potencial para otimizar o *design* estrutural, melhorar a eficiência operacional, reduzir os prazos de elaboração e garantir a qualidade e segurança das construções. Ao longo deste estudo, foi possível identificar os principais benefícios e limitações dessas ferramentas, bem como a adequação de suas recomendações às normas técnicas vigentes, como a NBR 6118:2023.

A análise comparativa das ferramentas mostrou que o Chat GPT se destacou por fornecer respostas mais precisas e detalhadas, especialmente no que tange às classes de agressividade ambiental e aos procedimentos de dimensionamento de elementos estruturais, isso pode ser por motivo de ser uma ferramenta mais popular, é que seja mais desenvolvida. Essa precisão pode ser essencial para acelerar a fase preliminar dos projetos, contribuindo para uma maior produtividade e uma redução nas alterações durante a fase de detalhamento.

Por outro lado, observou-se que a confiabilidade das respostas fornecidas pelas IA's varia conforme o nível de detalhamento dos comandos inseridos. Embora o Chat GPT e o Copilot tenham oferecido recomendações satisfatórias para pilares e vigas, o Gemini apresentou uma abordagem mais conservadora, frequentemente recomendando a consulta de um profissional habilitado, o que, apesar de reduzir os riscos, pode limitar a automação pretendida para a fase preliminar dos projetos.

O protocolo apresentado neste estudo fornece um roteiro estruturado para a utilização de ferramentas de inteligência artificial no desenvolvimento de projetos de estruturas de concreto armado. Cada fase do projeto foi meticulosamente delineada, com prompts específicos e a indicação de ferramentas recomendadas, como Chat GPT, Copilot e Gemini, justificando suas escolhas com base na otimização de processos e na garantia de conformidade com normas técnicas.

Desta forma, o uso de IA em projetos de estruturas de concreto armado, apesar de promissor, ainda deve ser complementado pela análise crítica de engenheiros especializados, para garantir que as soluções adotadas estejam em conformidade com as normas técnicas e os requisitos de segurança.

A adoção dessas ferramentas não apenas acelera as etapas do projeto, mas também minimiza riscos de erros, contribuindo para a segurança estrutural e a viabilidade econômica das edificações. Assim, a integração da inteligência artificial no campo da engenharia civil representa um avanço significativo, promovendo maior eficiência e qualidade nos projetos.

6 REFERÊNCIAS

ALVA, Gerson Moacyr Sisniegas. Pré-dimensionamento da estrutura. **Santa Maria/RS. Universidade Federal de Santa Maria**, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8681: **Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

BARBOSA, Lucia Martins; PORTES, Luiza Alves Ferreira. A inteligência artificial. **Revista Tecnologia Educacional [on line]**, Rio de Janeiro, n. 236, p. 16-27, 2023.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **LAJES DE CONCRETO**: notas de aula. Bauru/Sp: Universidade Estadual Paulista, 2005.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **PILARES DE CONCRETO ARMADO**: notas de aula. Bauru/Sp: Universidade Estadual Paulista, 2017.

DE OLIVEIRA, Tharik Henrique Getens; DE OLIVEIRA PAULO, Elson Eduardo; LARA, Rute de Almeida; MELO, Fabricia Cristina Lemos; AGNOLETTI, Ethiane. Transformação da engenharia civil através da inteligência artificial: Um novo horizonte de inovação. *Nativa—Revista de Ciências Sociais do Norte de Mato Grosso*, v. 13, n. 1, 2024.

DISCHER, Marcos Gottschalg; SANTOS, Givanildo de Jesus; TELES, Eduardo Oliveira. Utilização de Inteligência Artificial para Análise e Dimensionamento de Estruturas em Concreto Armado: uma prospecção tecnológica. **Cadernos de Prospecção**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 1354-1368, 1 out. 2022. Universidade Federal da Bahia.
<http://dx.doi.org/10.9771/cp.v15i4.44907>.

HAQUE, R. R.; BRITO, I. M.; FRADE, S. Copilot e ChatGPT: Como utilizar ferramentas de IA na análise de dados. **Caderno de laboratório: Guia prático para investigadores/as**, 2024.

KAUFMAN, Dora. **Desmistificando a inteligência artificial**. São Paulo: Grupo Autêntica, 2022.

KIMURA, Alio. **Informática aplicada a estruturas de concreto armado**. Oficina de Textos, 2018.

KRIPKA, Moacir. Análise estrutural para engenharia civil e arquitetura: estruturas isostáticas / Moacir Kripka. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

LIMA, Isaías. **Inteligência Artificial**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2014.

MASALKHI, Mouayad; ONG, Joshua; WAISBERG, Ethan; LEE, Andrew G.. Google DeepMind's gemini AI versus ChatGPT: a comparative analysis in ophthalmology. **Eye**, [S.L.], v. 38, n. 8, p. 1412-1417, 14 fev. 2024. Springer Science and Business Media LLC.
<http://dx.doi.org/10.1038/s41433-024-02958-w>.

MIRANDA, Walzenira Parente; SILVA, Antonio Cleiton Lopes da. O papel do engenheiro no uso de softwares para cálculo estrutural / The role of engineers in the use of structural calculations softwares. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 3681-3698, 14 jan. 2022. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv8n1-242>.

NEVES, Lucas de Oliveira; DAMASCENO, Matheus Nascimento Hilário; ALARCON, Victor Almeida Duarte; SILVA, Weslei Germano da; FELIX, Robson de Oliveira. USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA ENGENHARIA CIVIL. **Gears N' Bricks - Engineering Journal**, Goianésia, v. 4, n. 2, p. 1-6, 24 jul. 2024.

OLIVEIRA, Fernando Alberto Silva. Análise comparativa de custo entre lajes treliçadas e lajes maciças. **Saberes da Engenharia: Uma contribuição para a sociedade**. Volume 2, p. 74. 2022.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. Fundamentos de concreto e projeto de edifícios. São Sarlos - SP: USP. 2004.

SILVA, J. A. S.; MAIRINK, C. H. P. Inteligência artificial: aliada ou inimiga. **LIBERTAS: Rev. Ciênci. Soc. Apl.**, Belo Horizonte, v. 9, n. 2, p. 64-85, ago./dez. 2019.

TAVARES, Felipe. Concepção estrutural integrada à arquitetura auxiliada pela inteligência artificial. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v17, n3, 2022. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v17i3.185781>.

TEATINI, João C. Estruturas de Concreto Armado. [Rio de Janeiro]: Grupo GEN, 2016.

APÊNDICE 1: especificações para a estrutura de uma escola

CHAT GPT



As especificações para estruturas de concreto armado em uma construção escolar seguem normas técnicas de segurança e desempenho que garantem a durabilidade e o conforto do edifício. No Brasil, a NBR 6118:2014 é a principal norma que rege o dimensionamento de estruturas de concreto armado. Além disso, é importante atender a outros regulamentos específicos, como normas de acessibilidade e segurança contra incêndios.

Aqui estão as principais especificações:

1. Resistência do Concreto

- **Fck (Resistência Característica do Concreto):** Em geral, o Fck para construções escolares varia entre 25 MPa e 35 MPa, dependendo das condições de carga e da durabilidade necessária, principalmente em áreas sujeitas a agressividade ambiental moderada ou severa.

2. Aço para Armaduras

- Os aços mais comuns utilizados nas armaduras são o CA-50 (500 MPa) e o CA-60 (600 MPa). Esses aços são usados tanto nas armaduras longitudinais quanto nas transversais (estribos), com especificações de diâmetros variando conforme o projeto estrutural.

3. Durabilidade e Cobertura das Armaduras

- A NBR 6118 prevê coberturas mínimas para proteger as armaduras contra corrosão, principalmente em função da classe de agressividade ambiental (CAA):
 - CAA I (Baixa): 20 mm.
 - CAA II (Moderada): 30 mm.
 - CAA III (Forte): 40 mm.
 - CAA IV (Muito forte): 50 mm.
- Para edifícios escolares, normalmente adotam-se coberturas de 30 mm a 40 mm, dependendo da localização e exposição às intempéries.

4. Carga e Sobrecarga

- A NBR 6120 regula as cargas para diferentes tipos de ocupação. Em edificações escolares, as salas de aula devem ser dimensionadas para suportar uma sobrecarga de uso de 2,0 kN/m². Para corredores, áreas de circulação e locais de reuniões (auditórios, por exemplo), essa sobrecarga é maior, podendo chegar a 4,0 kN/m².

5. Critérios de Segurança

- A estrutura deve ser dimensionada para atender aos **estados limites últimos (ELU)** e **estados limites de serviço (ELS)**. Isso inclui:
 - **ELU:** Resistência à ruptura, com segurança contra colapso.
 - **ELS:** Controle de deformações (flechas) e fissuração para garantir o conforto e durabilidade.

6. Acessibilidade e Ergonomia

- Além da parte estrutural, o projeto de uma construção escolar deve seguir as diretrizes de acessibilidade previstas na **NBR 9050**, garantindo o acesso de pessoas com mobilidade reduzida, com rampas, largura adequada de portas e corredores, entre outros elementos.

7. Normas Complementares

- **NBR 9050:** Acessibilidade.
- **NBR 5410:** Instalações elétricas de baixa tensão (importante para as cargas de instalações).
- **NBR 9077:** Saídas de emergência.
- **Normas de proteção contra incêndio**, que variam por estado (exemplo: ITs dos Bombeiros).

8. Critérios de Sustentabilidade

- Em projetos mais modernos, incorporam-se práticas sustentáveis como o uso de concreto ecológico e sistemas de captação de água da chuva, visando eficiência energética e hídrica.

Esses são os principais aspectos a serem considerados no dimensionamento e especificação das estruturas de concreto armado para construções escolares.

GEMINI



Especificações para Estruturas de Concreto Armado em Construções Escolares

As especificações para estruturas de concreto armado em construções escolares variam de acordo com a legislação local, normas técnicas e as particularidades de cada projeto. No entanto, algumas considerações gerais são fundamentais para garantir a segurança, durabilidade e funcionalidade das edificações:

Normas Técnicas e Legislação

- **NBR 6118:** A Norma Brasileira de Projeto de Estruturas de Concreto estabelece os requisitos mínimos para o projeto e execução de estruturas de concreto.
- **Legislação local:** Verifique as leis e regulamentos específicos da sua região, que podem incluir requisitos adicionais para construções escolares.
- **Outras normas:** Dependendo do caso, podem ser necessárias outras normas técnicas, como as relacionadas à acessibilidade, proteção contra incêndio, etc.

Requisitos Gerais

- **Segurança:** As estruturas devem garantir a segurança dos ocupantes, resistindo a todos os tipos de carregamentos (próprios, acidentais, ventos, sismos, etc.).
- **Durabilidade:** Os materiais e a execução devem garantir a durabilidade da estrutura, resistindo aos agentes agressivos do ambiente (umidade, ciclos de umidade, agentes químicos, etc.).
- **Conforto:** A estrutura deve contribuir para o conforto térmico e acústico dos ocupantes.
- **Acessibilidade:** As estruturas devem atender aos requisitos de acessibilidade para pessoas com deficiência.
- **Manutenção:** As estruturas devem ser projetadas para facilitar a manutenção e inspeção.

Especificações Técnicas

- **Materiais:**

- **Concreto:** Utilizar concreto com resistência característica adequada às solicitações.
- **Aço:** Utilizar aço com resistência característica adequada e barras com diâmetros adequados à armadura.
- **Agregados:** Utilizar agregados limpos e com granulometria adequada.

- **Dimensionamento:**

- **Estados limites últimos:** Verificar a resistência da estrutura aos esforços máximos.
- **Estados limites de serviço:** Verificar as deformações, fissuração e vibrações.

- **Detalhes construtivos:**

- **Armaduras:** Dimensionar e detalhar as armaduras longitudinais e transversais de acordo com a NBR 6118.

- **Coberturas:** Garantir as coberturas mínimas de concreto sobre as armaduras.
- **Juntas de dilatação:** Dispor juntas de dilatação para controlar as fissuras e acomodar as movimentações térmicas.

- **Execução:**

- **Controle de qualidade:** Realizar ensaios no concreto e no aço para garantir a qualidade dos materiais.
- **Mão de obra qualificada:** Contratar profissionais qualificados para a execução da obra.
- **Proteção contra incêndio:** As estruturas devem oferecer um determinado grau de resistência ao fogo, dependendo da importância da edificação.

Considerações Específicas para Escolas

- **Carregamentos:** Considerar os carregamentos adicionais devido ao mobiliário escolar, equipamentos esportivos e atividades especiais.
- **Acessibilidade:** Projetar rampas, elevadores e outras instalações para garantir a acessibilidade de todos os usuários.
- **Acústica:** Projetar as estruturas para garantir o conforto acústico das salas de aula e outros ambientes.
- **Iluminação natural:** Maximizar a entrada de luz natural nas salas de aula.
- **Flexibilidade:** Projetar as estruturas de forma a permitir futuras adaptações e modificações.

Observação: É fundamental que o projeto estrutural seja elaborado por um profissional habilitado e que a execução da obra seja acompanhada por um técnico responsável.

Recomendações Adicionais:

- **Análise de risco:** Realizar uma análise de risco para identificar os principais perigos e definir as medidas de segurança necessárias.
- **Sustentabilidade:** Adotar soluções construtivas que minimizem o impacto ambiental da obra.
- **Tecnologia:** Utilizar softwares de análise estrutural para otimizar o projeto e verificar a segurança da estrutura.

Para um dimensionamento preciso e seguro, consulte um engenheiro civil especializado em estruturas.

COPILLOT



Copilot

✓ Gerando respostas para você...

Para a construção de estruturas de concreto armado em uma escola, é essencial seguir normas técnicas e especificações detalhadas para garantir a segurança e a durabilidade da edificação. Aqui estão alguns pontos importantes:

1. Normas Técnicas:

- **NBR 6118:** Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento ¹.
- **NBR 7191:** Execução de Desenhos para Obras de Concreto Simples ou Armado ¹.
- **NBR 7480:** Aço Destinado a Armaduras para Estruturas de Concreto Armado - Especificação ¹.
- **NBR 14931:** Execução de Estruturas de Concreto - Procedimento ¹.

2. Materiais Utilizados:

- **Aço CA-50 e CA-60:** Utilizados para a armadura de pilares, vigas e lajes, com diâmetros variando de 4,2 mm a 32,0 mm ¹.
- **Concreto:** Deve ser dosado e preparado conforme as especificações do projeto estrutural, garantindo a resistência necessária.

3. Processo de Execução:

- **Corte e Dobra do Aço:** O aço deve ser cortado e dobrado conforme as dimensões especificadas no projeto ¹.
- **Montagem das Armaduras:** As armaduras devem ser montadas de acordo com os desenhos técnicos, garantindo o posicionamento correto dentro das formas ¹.
- **Concretagem:** O concreto deve ser lançado e compactado adequadamente para evitar falhas e garantir a integridade estrutural ¹.

4. Considerações Adicionais:

- **Acessibilidade:** A construção deve atender às normas de acessibilidade, garantindo que todos os espaços sejam acessíveis a pessoas com mobilidade reduzida ².
- **Vida Útil do Projeto:** É importante considerar a durabilidade dos materiais e a manutenção preventiva para prolongar a vida útil da edificação ².

Essas especificações são fundamentais para garantir a segurança e a qualidade da construção escolar. Se precisar de mais detalhes ou tiver alguma dúvida específica, estou à disposição para ajudar!

APÊNDICE 2: Construção da escola em Areia Branca/RN

CHAT GPT



A construção de uma escola em Areia Branca/RN exige algumas considerações específicas devido às condições climáticas e ambientais da região, além das normas técnicas e especificações já mencionadas. Aqui estão os ajustes e pontos principais a serem observados para a cidade:

1. Agressividade Ambiental

- Areia Branca está localizada em uma região costeira, próxima ao mar, o que significa que a estrutura estará sujeita a condições de alta agressividade ambiental devido à presença de cloretos e salinidade, que podem acelerar o processo de corrosão das armaduras.
- A classe de agressividade ambiental para essa região seria CAA III (Forte), ou até mesmo CAA IV (Muito Forte) se a edificação estiver muito próxima à linha de costa.
- Cobertura das armaduras: O concreto precisa oferecer maior proteção às armaduras. A cobertura mínima recomendada seria de 40 mm a 50 mm, conforme a classe de agressividade.

2. Resistência do Concreto

- Devido à necessidade de durabilidade em ambiente agressivo, é recomendado utilizar um concreto com maior resistência à compressão e com menor permeabilidade. Para isso, adotar um f_{ck} mínimo de 30 MPa é aconselhável, com aditivos impermeabilizantes ou o uso de concreto com menor relação água/cimento ↓ para reduzir a penetração de íons cloreto.

3. Uso de Materiais Anti-corrosivos

- Para aumentar a vida útil das estruturas, pode-se adotar o uso de aço galvanizado ou o tratamento das armaduras com produtos inibidores de corrosão, especialmente para as fundações e as áreas mais expostas aos agentes corrosivos.
- Alternativamente, o uso de aços especiais, como os aços revestidos com epóxi ou aço inoxidável, pode ser considerado nas áreas mais críticas.

4. Ventilação e Aeração das Estruturas

- Considerando o clima quente e úmido de Areia Branca, deve-se garantir um bom nível de ventilação nos ambientes escolares, principalmente para evitar a umidade excessiva dentro da edificação, o que também pode prejudicar a durabilidade das estruturas.
- O projeto arquitetônico pode incluir elementos que favoreçam a ventilação natural, como grandes janelas e ventilação cruzada.

5. Proteção Contra Intempéries

- Devido à proximidade do litoral, as superfícies de concreto devem ser protegidas contra a ação direta de ventos carregados de sal e chuvas intensas. Uma solução é aplicar **revestimentos impermeabilizantes e pinturas especiais** em superfícies expostas, como coberturas, fachadas e pilares.



6. Ações do Vento

- Em uma cidade costeira, os ventos podem ter velocidades mais elevadas. É importante considerar **ações do vento** de forma mais detalhada no dimensionamento estrutural, principalmente nas áreas de cobertura e nas fachadas, conforme a **NBR 6123** (Forças devidas ao vento em edificações).
- O dimensionamento da estrutura deve ser robusto o suficiente para resistir às cargas de vento sem comprometer o conforto dos ocupantes e a integridade da edificação.

7. Cuidado com a Água e o Solo

- A **água utilizada no concreto** deve ser isenta de cloretos e outros contaminantes agressivos, o que pode ser um desafio em áreas costeiras. O controle da qualidade da água na mistura de concreto é fundamental.
- Para fundações, verificar as condições do **solo** é essencial. Em regiões próximas ao mar, o solo pode ter alta concentração de sais, o que também aumenta o risco de corrosão das fundações e estruturas de concreto. **Fundações profundas** como estacas podem ser mais adequadas para evitar o contato direto com o solo agressivo.

8. Sustentabilidade

- Aproveitar o potencial de energia solar de Areia Branca é uma oportunidade interessante para garantir eficiência energética no funcionamento da escola. A inclusão de **sistemas de captação de energia solar** pode ser integrada ao projeto estrutural, levando em consideração o dimensionamento adequado para suportar os painéis solares.

Essas considerações adaptam as recomendações gerais de estruturas de concreto armado às condições ambientais de Areia Branca/RN, garantindo maior durabilidade, segurança e eficiência da construção.

GEMINI



Considerações Específicas para Estruturas de Concreto Armado em Escolas em Areia Branca/RN

Excelente pergunta! Ao construir uma escola em Areia Branca/RN, é fundamental considerar as particularidades locais para garantir a durabilidade e segurança da estrutura de concreto armado.

Com base nas informações gerais sobre estruturas de concreto armado em escolas e considerando as especificidades da região de Areia Branca/RN, podemos destacar os seguintes pontos:

Fatores Climáticos e Ambientais

- **Umidade:** A região costeira, como Areia Branca, apresenta alta umidade. Isso exige cuidados especiais com a impermeabilização da estrutura para evitar problemas como infiltrações e deterioração do concreto.
- **Vento:** A região está sujeita a ventos fortes, especialmente em períodos específicos do ano. As estruturas devem ser projetadas para resistir a esses carregamentos, com atenção especial para a cobertura e elementos externos.
- **Solos:** É fundamental realizar um estudo geotécnico detalhado para identificar as características do solo e determinar a fundação mais adequada. Solos salinos ou com alta umidade podem exigir tratamentos especiais.
- **Corrosão:** A combinação de umidade, salinidade e outros agentes agressivos pode acelerar o processo de corrosão das armaduras. É essencial utilizar aço com boa resistência à corrosão e adotar medidas de proteção catódica.

Normas e Legislação Local

- **Norma ABNT NBR 6118:** A norma brasileira para projeto de estruturas de concreto é fundamental, mas é importante verificar se existem normas complementares ou adaptações específicas para a região de Areia Branca.
- **Legislação municipal:** Consulte a legislação municipal para verificar se existem exigências específicas em relação a altura de construções, recuos, materiais permitidos, etc.
- **Plano Diretor:** O Plano Diretor da cidade pode estabelecer diretrizes para a construção de edificações, incluindo escolas.

Especificações Técnicas Adaptadas

- **Concreto:** Utilizar concreto com dosagem adequada para resistir aos ambientes agressivos e com aditivos que melhorem a durabilidade.
- **Armaduras:** Adotar aço com boa resistência à corrosão e utilizar as devidas proteções, como revestimentos de concreto e inibidores de corrosão.
- **Impermeabilização:** Aplicar sistemas de impermeabilização eficientes em todas as áreas suscetíveis à penetração de água, como lajes, terraços e fundações.
- **Ventilação:** Projetar a estrutura para garantir uma boa ventilação dos ambientes, evitando a condensação de umidade e a proliferação de fungos.
- **Proteção contra raios:** Considerar a instalação de um sistema de proteção contra raios, especialmente em edificações altas ou localizadas em áreas expostas.

Considerações Específicas para Escolas

- **Acessibilidade:** Além das normas gerais de acessibilidade, considerar as especificidades da região, como rampas com inclinação adequada para vencer desníveis.
- **Ventilação natural:** Aproveitar os ventos alísios para ventilar naturalmente os ambientes, reduzindo o consumo de energia.
- **Iluminação natural:** Maximizar a entrada de luz natural nas salas de aula, contribuindo para a economia de energia e o bem-estar dos alunos.

Em resumo:

Ao projetar e construir uma escola em Areia Branca/RN, é fundamental considerar as particularidades climáticas e ambientais da região, além de seguir as normas técnicas e a legislação local. Um projeto bem elaborado, com materiais de qualidade e execução correta, garantirá a durabilidade e segurança da edificação, proporcionando um ambiente de aprendizado saudável e confortável para os alunos.

Recomenda-se a contratação de profissionais qualificados para realizar o projeto estrutural e acompanhar a execução da obra.

COPILLOT



Copilot

✓ Gerando respostas para você...

Para a construção de uma escola em Areia Branca/RN, além das especificações gerais para estruturas de concreto armado, algumas considerações adicionais específicas para a região devem ser levadas em conta:

1. Condições Climáticas:

- **Resistência à Corrosão:** Devido à proximidade com o mar, é importante utilizar concretos com aditivos que aumentem a resistência à corrosão e armaduras com revestimentos especiais para evitar a deterioração causada pela salinidade do ar.
- **Proteção contra Umidade:** Implementar barreiras de umidade e sistemas de drenagem eficientes para evitar infiltrações e danos estruturais.

2. Solo e Fundação:

- **Análise Geotécnica:** Realizar um estudo detalhado do solo para determinar a capacidade de suporte e escolher o tipo de fundação mais adequado, considerando possíveis variações de solo na região.
- **Fundação Profunda:** Em áreas com solo arenoso ou instável, pode ser necessário utilizar fundações profundas, como estacas, para garantir a estabilidade da estrutura.

3. Normas Locais e Regionais:

- **Código de Obras Municipal:** Verificar e seguir as regulamentações específicas do município de Areia Branca para construções escolares.
- **Normas de Segurança:** Garantir que a construção atenda às normas de segurança contra incêndio e pânico, incluindo saídas de emergência e sinalização adequada.

4. Sustentabilidade e Eficiência Energética:

- **Materiais Sustentáveis:** Utilizar materiais de construção locais e sustentáveis para reduzir o impacto ambiental e promover a economia local.
- **Eficiência Energética:** Implementar soluções de eficiência energética, como iluminação natural, ventilação cruzada e sistemas de energia solar, para reduzir os custos operacionais e o impacto ambiental da escola.

Essas considerações adicionais são essenciais para adaptar o projeto às condições específicas de Areia Branca/RN, garantindo a durabilidade e a segurança da construção. Se precisar de mais detalhes ou tiver outras dúvidas, estou aqui para ajudar!

APÊNDICE 3: estudo de caso com *prompt* mais detalhado

CHAT GPT



Para garantir a durabilidade e a integridade estrutural de edificações localizadas em regiões litorâneas com alta incidência de respingos de maré, como no caso de uma escola, é essencial seguir as diretrizes estabelecidas na ABNT NBR 6118:2023. Esta norma fornece orientações específicas sobre classe de agressividade ambiental, resistência característica do concreto, cobrimentos mínimos das armaduras, e outros parâmetros que visam proteger as estruturas contra ataques de agentes agressivos e evitar manifestações patológicas.

A seguir, detalhamos os parâmetros que devem ser considerados:

1. Classe de Agressividade Ambiental (CAA)

Determinação da Classe de Agressividade

De acordo com a NBR 6118:2023, as classes de agressividade ambiental são classificadas em quatro níveis, conforme a exposição e os agentes agressivos presentes no ambiente:

1. CAA I (Fraca): Ambientes com baixa agressividade.
2. CAA II (Moderada): Ambientes urbanos ou industriais com baixa poluição.
3. CAA III (Forte): Ambientes industriais com alta poluição ou próximos a maresia moderada.
4. CAA IV (Muito Forte): Ambientes marinhos com alta agressividade, incluindo áreas com incidência direta de respingos de maré e atmosferas marinhas altamente agressivas.

Para uma escola situada em região litorânea com grande incidência de respingos de maré, a classificação adequada é:

Classe de Agressividade Ambiental: CAA IV (Muito Forte)

Justificativa:

- **Exposição a Cloretos:** A presença constante de névoa salina e respingos de maré expõe a estrutura a altos teores de cloretos, que são altamente agressivos ao concreto e às armaduras.
- **Atmosfera Marinha:** A proximidade ao mar aumenta a concentração de sais e umidade, acelerando processos de corrosão.

2. Resistência Característica do Concreto (f_{ck})

A resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) deve ser selecionada considerando a classe de agressividade ambiental para garantir a durabilidade da estrutura.

Recomendação para CAA IV:

- Resistência Mínima do Concreto (f_{ck}): 40 MPa

Justificativa:

- **Baixa Permeabilidade:** Concretos com f_{ck} mais elevados apresentam menor permeabilidade, dificultando a penetração de agentes agressivos como cloretos e CO_2 .
- **Maior Durabilidade:** A resistência elevada contribui para uma vida útil maior da estrutura, reduzindo a probabilidade de manifestações patológicas.

Observações Adicionais:

- **Controle do Traço:** Deve-se assegurar um baixo fator água/cimento (a/c), preferencialmente $\leq 0,45$, para reduzir a porosidade e aumentar a densidade do concreto.
- **Uso de Adições Minerais:** A incorporação de adições como sílica ativa, metacaulim ou escória de alto-forno pode melhorar a resistência e durabilidade do concreto.
- **Cura Adequada:** Garantir uma cura eficiente e prolongada do concreto para desenvolver plenamente suas propriedades mecânicas e de durabilidade.

3. Cobrimentos Mínimos das Armaduras

O **cobrimento** é a distância entre a superfície externa do concreto e a face externa das armaduras. Ele é fundamental para a proteção das armaduras contra corrosão e deve ser adequado à classe de agressividade ambiental.

Recomendações para CAA IV:

- **Cobrimento Mínimo para Armadura Longitudinal:**
 - Elementos em Geral: 50 mm
 - Lajes: 45 mm (podendo variar conforme o tipo e espessura da laje)
- **Cobrimento Mínimo para Armadura Transversal (estribos):**
 - Elementos em Geral: 50 mm

Justificativa:

- **Proteção contra Corrosão:** Maior espessura de concreto protege as armaduras da penetração de cloretos e outros agentes agressivos.
- **Durabilidade Aumentada:** Reduz a velocidade de propagação de fissuras e atrasa o início de processos corrosivos.

Justificativa:

- **Proteção contra Corrosão:** Maior espessura de concreto protege as armaduras da penetração de cloretos e outros agentes agressivos.
- **Durabilidade Aumentada:** Reduz a velocidade de propagação de fissuras e atrasa o início de processos corrosivos.

Considerações Importantes:

- **Execução Precisa:** O cobrimento deve ser rigorosamente controlado durante a execução, utilizando espaçadores adequados para garantir a espessura mínima especificada.
- **Qualidade do Concreto de Cobrimento:** Deve-se assegurar que o concreto de cobrimento seja homogêneo, bem compactado e isento de defeitos, já que ele é a primeira barreira contra agentes agressivos.
- **Inspeções e Manutenções Periódicas:** Recomenda-se a realização de **inspeções regulares** para identificar e corrigir possíveis falhas no cobrimento que possam comprometer a durabilidade da estrutura.

4. Outros Parâmetros e Recomendações

4.1. Uso de Aditivos e Adições

- **Aditivos Impermeabilizantes:** Podem ser incorporados ao concreto para reduzir sua permeabilidade e aumentar a resistência à penetração de água e cloretos.
- **Adições Minerais:** Como sílica ativa, metacaulim, ou cinzas volantes, que melhoram a compactidade e reduzem a porosidade do concreto.

4.2. Controle do Fator Água/Cimento (a/c)

- **Valor Máximo Recomendado:** 0,45
- **Impacto:** Um a/c baixo diminui a porosidade do concreto, aumentando sua resistência mecânica e durabilidade.

4.3. Qualidade na Execução

- **Compactação Adequada:** Garante a eliminação de vazios e melhora a densidade do concreto.
- **Cura Correta:** A cura úmida e prolongada ajuda no desenvolvimento da resistência e durabilidade do concreto.

4.4. Detalhamento Estrutural

- **Armaduras Bem Detalhadas:** Evitar concentrações de tensões e facilitar o cobrimento adequado.
- **Juntas de Construção:** Devem ser bem planejadas e executadas para impedir a infiltração de agentes agressivos.

4.5. Proteções Superficiais

- **Revestimentos Protetores:** Aplicação de tintas epóxi, hidrofugantes, ou revestimentos poliméricos sobre o concreto exposto para fornecer uma barreira adicional contra a penetração de cloretos e umidade.

4.6. Escolha de Armaduras

- **Aço com Maior Resistência à Corrosão:** Considerar o uso de aço inoxidável, aço galvanizado, ou barras revestidas em áreas críticas.

4.7. Projeto de Drenagem Adequado

- **Sistema de Drenagem Eficiente:** Evitar o acúmulo de água nas superfícies estruturais que possam facilitar a penetração de agentes agressivos.

5. Resumo das Recomendações

Parâmetro	Recomendação
Classe de Agressividade Ambiental	CAA IV (Muito Forte)
Resistência Característica (fck)	≥ 40 MPa
Fator Água/Cimento (a/c)	≤ 0,45
Cobrimento Mínimo das Armaduras	50 mm (elementos em geral)
Adições Minerais	Sílica ativa, metacaulim, escória
Aditivos	Impermeabilizantes
Compactação e Cura	Execução rigorosa e cura úmida adequada
Proteções Superficiais	Revestimentos impermeáveis e protetores
Tipo de Aço	Aço com proteção adicional contra corrosão
Drenagem	Sistema eficiente para evitar acúmulo de água

6. Considerações Finais

A aplicação rigorosa das recomendações da **ABNT NBR 6118:2023** é essencial para garantir a **durabilidade e segurança** das estruturas em ambientes altamente agressivos como regiões litorâneas. Além das especificações técnicas, é fundamental assegurar uma **execução de alta qualidade**, com **mão de obra qualificada**, **supervisão constante**, e **materiais de procedência confiável**.

Manutenções periódicas e inspeções regulares também são cruciais para identificar precocemente possíveis deteriorações e tomar medidas corretivas a tempo, prolongando a vida útil da edificação e garantindo a segurança dos usuários.

GEMINI



Dimensionamento de Estruturas em Regiões Litorâneas com Alta Incidência de Respingos de Maré - NBR 6118:2023

Introdução

A NBR 6118:2023 é a norma brasileira que estabelece as diretrizes para o projeto de estruturas de concreto armado. Em regiões litorâneas, especialmente em áreas com alta incidência de respingos de maré, a agressividade do ambiente marinho exige cuidados especiais no projeto para garantir a durabilidade das estruturas.

Classe de Agressividade

De acordo com a NBR 6118:2023, a classe de agressividade ambiental para estruturas expostas a respingos de maré é classificada como **IV - Muito Forte**. Essa classificação indica um alto risco de deterioração da estrutura devido à ação de agentes agressivos, principalmente os cloretos presentes na água do mar.

Parâmetros a serem Considerados

Para garantir a durabilidade das estruturas em ambientes marinhos, é fundamental considerar os seguintes parâmetros:

- **Resistência do Concreto:**
 - **Classe de Exposição:** A classe de exposição IV exige um concreto com resistência à compressão característica (f_{ck}) elevada, geralmente a partir de C30.
 - **Relação água/cimento:** Uma baixa relação água/cimento contribui para um concreto mais denso e menos permeável, dificultando a penetração de íons cloreto.
- **Cobrimento das Armaduras:**
 - **Aumento do Cobrimento:** É necessário aumentar o cobrimento nominal das armaduras em relação aos valores mínimos estabelecidos na norma para as demais classes de agressividade. A espessura do cobrimento deve ser dimensionada de acordo com a classe de exposição e a profundidade de carbonatação esperada.

- **Aditivos:**

- **Aditivos Impermeabilizantes:** A adição de aditivos impermeabilizantes ao concreto pode reduzir a sua permeabilidade, dificultando a penetração de água e íons cloreto.
- **Inibidores de Corrosão:** A utilização de inibidores de corrosão pode retardar o processo de corrosão das armaduras.

- **Proteção Catódica:**

- Em casos de estruturas submersas ou enterradas, a proteção catódica pode ser utilizada para proteger as armaduras contra a corrosão.

- **Detalhes Construtivos:**

- **Juntas de Dilatação:** As juntas de dilatação devem ser projetadas e executadas de forma a evitar a penetração de água e sais.
- **Drenagem:** É fundamental garantir uma boa drenagem da água da chuva e dos respingos de maré para evitar a acumulação de água nas superfícies do concreto.

Outras Considerações

- **Inspeção e Manutenção:** É fundamental estabelecer um programa de inspeção e manutenção periódica das estruturas para identificar e corrigir eventuais danos.
- **Revestimentos:** A aplicação de revestimentos protetores, como argamassa impermeabilizante ou pinturas especiais, pode aumentar a durabilidade das estruturas.
- **Projeto Estrutural:** O projeto estrutural deve considerar as ações dos agentes agressivos e os efeitos da corrosão das armaduras.

Exemplo de Especificação para um Pilar em Região Litorânea:

- **Classe de concreto:** C35
- **Cobrimento nominal:** 5 cm
- **Aditivo impermeabilizante:** Sim
- **Armadura:** Aço CA-50 com diâmetro adequado para atender à área de aço calculada
- **Detalhes construtivos:** Juntas de dilatação adequadas, drenagem eficiente e proteção das extremidades das barras de aço.

Conclusão

O dimensionamento de estruturas em regiões litorâneas com alta incidência de respingos de maré exige um cuidado especial para garantir a durabilidade da obra. A adoção das medidas descritas acima, em conjunto com um projeto estrutural bem elaborado e uma execução cuidadosa, contribuirá para aumentar a vida útil da estrutura e reduzir os custos de manutenção.

É fundamental consultar um engenheiro civil especializado em estruturas de concreto para um dimensionamento adequado e personalizado para cada caso.

COPILLOT



Copilot

✓ Gerando respostas para você...

Para um projeto estrutural de uma escola em uma região litorânea com alta incidência de respingos de maré, a NBR 6118:2023 fornece diretrizes específicas para garantir a durabilidade das estruturas de concreto. Aqui estão alguns dos principais parâmetros a serem considerados:

1. Classe de Agressividade Ambiental (CAA):

- Em regiões litorâneas com respingos de maré, a classe de agressividade ambiental é classificada como **IV** (muito forte) devido à alta concentração de cloretos e à ação da água do mar¹.

2. Resistência do Concreto:

- Para a classe IV, a resistência característica mínima do concreto (f_{ck}) deve ser de **30 MPa**¹.

3. Cobrimento Nominal:

- O cobrimento nominal para a classe IV deve ser de **50 mm**¹. Este valor é essencial para proteger as armaduras contra a corrosão.

4. Tipo de Cimento:

- Recomenda-se o uso de cimentos com baixa permeabilidade e alta resistência aos sulfatos, como o cimento Portland resistente a sulfatos (CP V-ARI RS) ou cimentos com adições pozolânicas¹.

5. Adições e Aditivos:

- Utilização de adições minerais, como sílica ativa, metacaulim ou cinzas volantes, para melhorar a durabilidade do concreto¹.
- Aditivos impermeabilizantes também são recomendados para reduzir a permeabilidade do concreto¹.

6. Revestimentos e Proteções Adicionais:

- Aplicação de revestimentos protetores, como pinturas epóxi ou membranas impermeabilizantes, nas superfícies expostas¹.

Essas medidas são fundamentais para aumentar a durabilidade das estruturas de concreto em ambientes agressivos e prevenir manifestações patológicas, como a corrosão das armaduras.

APÊNDICE 4: *prompt* mais geral sobre vigas

CHAT GPT



Para definir a **altura ideal da viga** em um quarto de uma casa residencial, uma regra prática bastante utilizada é adotar uma altura entre $1/10$ a $1/12$ do **vão livre**. Isso proporciona uma solução estrutural eficiente e segura.

Exemplo prático:

Se o quarto tem um **vão livre de 4 metros**, a altura da viga pode ser estimada como:

- $\text{Altura} = \frac{\text{Vão}}{10} = \frac{4\text{ m}}{10} = 0,4\text{ m} = 40\text{ cm}$
- Ou, utilizando $1/12$ como referência:

$$\text{Altura} = \frac{\text{Vão}}{12} = \frac{4\text{ m}}{12} = 0,33\text{ m} = 33\text{ cm}$$

Portanto, para um quarto com um vão de 4 metros, a **altura da viga** ficaria entre **33 cm e 40 cm**, com **35 cm** sendo uma escolha comum para vigas residenciais.

Isso balanceia o custo e a eficiência, além de garantir a segurança estrutural.

GEMINI



Altura da Viga para um Quarto: Considerações Essenciais

A **altura ideal de uma viga para um quarto** varia de acordo com diversos fatores, como:

- **Vão livre:** A distância entre os apoios da viga (paredes) influencia diretamente na altura necessária. Vãos maiores geralmente exigem vigas mais altas.
- **Carga:** A carga que a viga deverá suportar, incluindo o peso próprio da laje, revestimentos, móveis e sobrecargas, também influencia na altura.
- **Material da viga:** O tipo de material (concreto, madeira, aço) e suas propriedades mecânicas determinam a altura necessária para resistir às cargas.
- **Estética:** A altura da viga pode influenciar o design do ambiente, especialmente em casos de vigas aparentes.
- **Normas técnicas:** A NBR 6118 (para estruturas de concreto) estabelece critérios mínimos para o dimensionamento das vigas, incluindo a altura mínima.

Recomendações Gerais:

- **Vigas de concreto armado:** Para uma casa residencial, uma altura inicial que pode ser considerada para pré-dimensionamento é de 1/10 do vão. Por exemplo, para um vão de 4 metros, a altura inicial da viga poderia ser de 40 cm. No entanto, este é apenas um valor inicial e o dimensionamento final deve ser feito por um profissional.
- **Vigas de madeira:** A altura das vigas de madeira varia de acordo com o tipo de madeira, dimensões da seção transversal e carga a ser suportada. Consulte um engenheiro estrutural para um dimensionamento preciso.
- **Vigas metálicas:** As vigas metálicas são mais leves e podem ter alturas menores do que as vigas de concreto ou madeira, mas o dimensionamento deve ser feito de acordo com as normas técnicas.

Importante:

- **Dimensionamento preciso:** O dimensionamento correto de uma viga é fundamental para garantir a segurança da construção. Um dimensionamento inadequado pode levar ao colapso da estrutura.
- **Profissional habilitado:** Consulte sempre um engenheiro civil para realizar o dimensionamento da viga, considerando todos os fatores envolvidos.

Em resumo:

A altura ideal da viga para um quarto depende de diversos fatores e deve ser determinada por um profissional qualificado. Ao escolher a altura da viga, é importante considerar a segurança, a estética e os custos da obra.

Gostaria de mais informações sobre algum aspecto específico do dimensionamento de vigas? Por exemplo, posso explicar como calcular a carga em uma viga, como escolher o material adequado ou como detalhar a armadura de uma viga de concreto.

Lembre-se: A segurança da sua casa é o mais importante. Não economize na contratação de um profissional qualificado para realizar o projeto estrutural.

COPILLOT



Copilot

✓ Gerando respostas para você...

Para determinar a altura ideal de uma viga em um quarto de uma casa, uma regra prática comum é usar cerca de 10% do vão livre da viga ¹². Por exemplo, se o vão entre os apoios da viga for de 4 metros, a altura da viga seria aproximadamente:

$$\text{Altura da viga} = \frac{4 \text{ m}}{10} = 0,4 \text{ m (40 cm)}$$

Essa regra pode variar dependendo das cargas aplicadas e do tipo de concreto utilizado. Para um dimensionamento mais preciso, é sempre recomendável consultar um engenheiro civil.

APÊNDICE 5: análise de vigas com especificações

CHAT GPT



Memória atualizada

Ao projetar uma viga para um quarto na cidade de Brejo do Cruz, Paraíba, além dos aspectos estruturais comuns, alguns fatores específicos do local devem ser considerados para garantir que a estrutura atenda às exigências normativas e às condições ambientais. Esses fatores incluem:

1. Classe de Agressividade Ambiental (CAA)

- A cidade de Brejo do Cruz está localizada em uma região de clima semiárido, o que implica um ambiente seco, mas com possíveis variações de temperatura.
- Segundo a NBR 6118, a classe de agressividade ambiental deve ser avaliada. Em áreas de clima semiárido, a agressividade é geralmente Classe II (moderada), o que influencia as espessuras mínimas de cobrimento do concreto para proteger a armadura contra a corrosão.

2. Cobrimento Mínimo da Armadura

- Para uma Classe II de agressividade ambiental, o cobrimento mínimo da armadura deve ser maior, geralmente em torno de 30 mm para elementos estruturais, como vigas.

3. Condicionantes Climáticos

- O clima da região pode levar a temperaturas elevadas, o que influencia o comportamento do concreto em relação à retração térmica e fissuração. É importante prever juntas de dilatação, principalmente se a estrutura for maior.

4. Carga de Vento

- Embora a cidade não seja conhecida por ventos extremos, em edificações residenciais de dois ou mais pavimentos, a ação do vento deve ser considerada, especialmente em coberturas.

5. Qualidade dos Materiais Locais

- Em regiões mais remotas, como Brejo do Cruz, pode haver variações na qualidade dos materiais de construção, como o concreto e o aço. Por isso, é importante verificar a procedência e a qualidade do concreto fornecido e a resistência dos materiais, para garantir que atendam aos requisitos de f_{ck} e especificações normativas.

6. Sistemas Construtivos Locais

- Em regiões semiáridas, métodos construtivos tradicionais, como alvenaria de bloco cerâmico ou bloco de concreto, podem influenciar a carga sobre as vigas e, portanto, devem ser consideradas no projeto.



7. Movimentação Térmica e Retração

- O calor intenso pode levar à retração térmica do concreto. No projeto da viga, deve-se considerar o uso de aditivos que reduzam fissuras por retração, além de seguir práticas adequadas de cura do concreto.

8. Padrão Construtivo Local

- Em áreas residenciais de padrão mais simples, como é comum em várias cidades do interior, é importante adotar soluções que otimizem o uso de materiais sem comprometer a segurança. O uso de vigas com seções padronizadas, como 15 cm x 35 cm, é comum.

Resumo:

Para um quarto em Brejo do Cruz, além do dimensionamento estrutural habitual, deve-se considerar:

- Classe de agressividade ambiental (Classe II);
- Cobrimento mínimo de 30 mm para a armadura;
- Atenção à qualidade dos materiais e às condições de retração e fissuração devido ao calor;
- Eventual consideração da ação do vento e adequação ao padrão construtivo local.

Esses fatores garantem que a viga projetada s  Jurável e segura para as condições específicas da região.

GEMINI



Fatores a Considerar para o Dimensionamento de Vigas em Brejo do Cruz, PB

A escolha da altura e das dimensões de uma viga para um quarto em Brejo do Cruz, Paraíba, deve levar em consideração diversos fatores específicos da região, além dos aspectos gerais já mencionados.

Fatores Específicos de Brejo do Cruz e Região:

1. Condições Climáticas:

- **Umidade:** A alta umidade característica da região pode influenciar a escolha do material e exigir cuidados adicionais na proteção da madeira ou do aço contra a corrosão.
- **Chuvas:** A frequência e intensidade das chuvas podem exigir um projeto de drenagem eficiente para evitar infiltrações e danos à estrutura.
- **Vento:** A ação do vento, especialmente em construções mais altas, pode gerar esforços adicionais na viga.

2. Características do Solo:

- **Tipo de solo:** O tipo de solo influencia a capacidade de suporte do terreno e a necessidade de fundações mais profundas.
- **Nível do lençol freático:** Um lençol freático alto pode aumentar a umidade no solo e exigir cuidados adicionais na proteção da estrutura contra a umidade.

3. Sismicidade:

- **Ações sísmicas:** Embora a Paraíba não seja uma região com alta sismicidade, as ações sísmicas devem ser consideradas no projeto, especialmente para edificações mais altas ou localizadas em áreas com histórico de abalos sísmicos.

4. Materiais Disponíveis:

- **Concreto:** A disponibilidade de concreto de boa qualidade e a mão de obra especializada podem influenciar a escolha do material para a viga.
- **Madeira:** A madeira é um material tradicionalmente utilizado na construção civil, mas a qualidade e a disponibilidade de madeira tratada podem variar de acordo com a região.
- **Aço:** O aço é um material resistente e durável, mas seu custo pode ser mais elevado e a mão de obra especializada para a sua utilização pode ser limitada em algumas regiões.

5. Normas Técnicas:

- **NBR 6118:** A Norma Brasileira de Projeto de Estruturas de Concreto é fundamental para o dimensionamento de vigas de concreto armado.
- **Normas locais:** Verifique se existem normas específicas da cidade ou do estado que devem ser seguidas.

Considerações Adicionais:

- **Custo:** O custo dos materiais e da mão de obra varia de acordo com a região e deve ser considerado no projeto.

- **Manutenção:** A escolha do material e do tipo de viga deve levar em consideração a facilidade de manutenção e a durabilidade da estrutura.
- **Estética:** A viga pode ser aparente ou revestida, o que influencia a escolha do material e das dimensões.

Recomendações:

- **Contratar um profissional:** Consulte um engenheiro civil para realizar o projeto estrutural e o dimensionamento da viga, considerando todos os fatores específicos da região.
- **Utilizar materiais de boa qualidade:** A utilização de materiais de boa qualidade garante a durabilidade e a segurança da estrutura.
- **Seguir as normas técnicas:** A NBR 6118 e as demais normas aplicáveis devem ser rigorosamente seguidas.
- **Considerar as condições locais:** As características do solo, o clima e a sismicidade da região devem ser levadas em consideração no projeto.

Em resumo:

O dimensionamento de uma viga para um quarto em Brejo do Cruz, PB, deve ser feito de forma personalizada, considerando as características específicas da região e as necessidades do projeto. Um profissional qualificado poderá avaliar todos os fatores e indicar a melhor solução para garantir a segurança e a durabilidade da construção.

COPILLOT



Copilot

✓ Gerando respostas para você...

Para projetar uma viga em um quarto localizado em Brejo do Cruz, Paraíba, é importante considerar vários fatores específicos da região:

1. **Clima:** Brejo do Cruz possui um clima semiárido¹, o que significa que a estrutura deve ser resistente a altas temperaturas e baixa umidade. Materiais que suportam bem essas condições são essenciais.
2. **Tipo de Solo:** A fundação da viga deve ser adequada ao tipo de solo da região. Em áreas com solos mais arenosos ou argilosos, pode ser necessário reforçar a fundação para garantir a estabilidade da estrutura.
3. **Carga:** Considere as cargas que a viga precisará suportar, incluindo o peso da estrutura acima dela e qualquer carga adicional, como móveis e equipamentos.
4. **Normas e Regulamentações Locais:** Verifique as normas de construção locais para garantir que o projeto esteja em conformidade com os códigos de construção da Paraíba.
5. **Resistência a Desgaste:** Devido ao clima seco, é importante escolher materiais que não se desgastem facilmente com o tempo. A manutenção regular também é crucial para prolongar a vida útil da viga.

6. **Ventilação e Isolamento:** A ventilação adequada e o isolamento térmico são importantes para manter o conforto no quarto, especialmente em climas quentes.

Esses fatores ajudarão a garantir que a viga seja segura, durável e adequada para as condições específicas de Brejo do Cruz. Se precisar de mais detalhes ou ajuda com o projeto, sinta-se à vontade para perguntar!

APÊNDICE 6: dimensionamento de viga

CHAT GPT



Vamos realizar o pré-dimensionamento e dimensionamento da viga bi-apoiada com as seguintes características:

- Vão: 6 m
- Pilares: 15 cm x 30 cm
- Parede sobre a viga: 2,70 m de altura
- f_{ck} : 25 MPa
- Classe de agressividade ambiental IV (Muito Forte)

Passos para o cálculo:

1. Cálculo das cargas atuantes

A carga total sobre a viga será composta pela carga da parede, o peso próprio da viga e uma sobrecarga (se aplicável).

- **Peso da parede:** Vamos considerar uma parede de alvenaria de tijolos cerâmicos de 15 cm de espessura com densidade aproximada de 1.800 kg/m^3 .

$$\text{Peso da parede por metro linear} = 0,15 \text{ m} \times 2,70 \text{ m} \times 1800 \text{ kg/m}^3 = 729 \text{ kg/m} = 7,29 \text{ kN/m}$$

- **Peso próprio da viga:** Vamos estimar a seção da viga para iniciar o cálculo. Um valor usual para o pré-dimensionamento de vigas é considerar a altura h em função do vão L , usando a relação $h \approx \frac{L}{10}$.

$$h = \frac{6}{10} = 0,60 \text{ m} = 60 \text{ cm}$$

Supondo uma largura b da viga de 20 cm, o volume de concreto por metro de viga será:

$$V = 0,20 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} = 0,12 \text{ m}^3/\text{m}$$

Com densidade do concreto de 25 kN/m^3 :

$$\text{Peso próprio da viga} = 0,12 \text{ m}^3/\text{m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 3,00 \text{ kN/m}$$

- **Carga total por metro linear:**

$$q = 7,29 \text{ kN/m} \text{ (parede)} + 3,00 \text{ kN/m} \text{ (viga)} = 10,29 \text{ kN/m}$$

2. Cálculo do momento fletor

Para uma viga bi-apoiada submetida a uma carga distribuída q , o momento fletor máximo no centro da viga é dado por:

$$M_{máx} = \frac{qL^2}{8}$$

Substituindo os valores:

$$M_{máx} = \frac{10,29 \text{ kN/m} \times (6 \text{ m})^2}{8} = 46,31 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

3. Dimensionamento da armadura longitudinal

Agora, vamos calcular a área de aço necessária usando o momento máximo obtido. A resistência característica do concreto é $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ e usaremos $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ para o aço CA-50.

- Altura útil da viga d :

Considerando um cobrimento de 50 mm (CAA IV), a altura útil será:

$$d = 60 \text{ cm} - 5 \text{ cm} = 55 \text{ cm} = 0,55 \text{ m}$$

- Braço de alavanca $z \approx 0,9 \cdot d$:

$$z = 0,9 \times 0,55 = 0,495 \text{ m}$$

- Momento resistente da seção:

$$M_{rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z$$

Onde $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 500 \text{ MPa} / 1,15 = 435 \text{ MPa}$. Igualando o momento resistente ao momento fletor atuante:

$$A_s \cdot 435 \cdot 0,495 = 46,31 \times 10^3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$A_s = \frac{46,31 \times 10^3}{435 \cdot 0,495} = 216,26 \text{ mm}^2$$

4. Verificação da armadura mínima

A armadura mínima para vigas é dada por:

$$A_{s_{mín}} = 0,0015 \times b \times d$$

4. Verificação da armadura mínima

A armadura mínima para vigas é dada por:

$$As_{\min} = 0,0015 \times b \times d$$

Substituindo os valores:

$$As_{\min} = 0,0015 \times 200 \times 550 = 165 \text{ mm}^2$$

Como $As = 216,26 \text{ mm}^2$ é maior que a armadura mínima, a área calculada é válida.

5. Detalhamento

Vamos adotar barras de aço CA-50 com diâmetro de 10 mm (área = 78,54 mm² por barra).

Número de barras necessárias:

$$n = \frac{As}{A_{\text{barra}}} = \frac{216,26}{78,54} = 2,75$$

Assim, podemos adotar 3 barras de 10 mm para a armadura longitudinal inferior.

Resumo:

- Dimensões da viga: $b = 20 \text{ cm}$, $h = 60 \text{ cm}$
- Carga total: 10,29 kN/m
- Momento fletor máximo: 46,31 kN·m
- Área de aço necessária: 216,26 mm²
- Armadura adotada: 3 barras de 10 mm

Esse dimensionamento atende aos requisitos da NBR 6118:2023 para uma viga em CAA IV.

GEMINI

**Pré-dimensionamento e Dimensionamento da Viga Bi-Apoiada****Dados do Problema**

- **Vão livre (L):** 6 m
- **Altura da viga (h):** 60 cm (considerando 1/10 do vão)
- **Largura da viga (b):** 25 cm
- **Pilares:** 15x30 cm
- **Parede acima da viga:** 2,70 m
- **Fck:** 25 MPa
- **Classe de agressividade ambiental:** IV
- **Coberturas:** 2,5 cm para as faces e 3,0 cm para o estribo

Pré-Dimensionamento

- **Altura e largura:** Já definidas anteriormente.
- **Armadura longitudinal:** Estimativa inicial: 2% da área da seção transversal da viga para cada face.
- **Armadura transversal:** Estimativa inicial: Espaçamento de 15 cm para estribos.

Dimensionamento Definitivo**1. Determinação dos Carregamentos:**

- **Peso próprio da viga:** $0,9 \text{ m}^3 * 25 \text{ kN/m}^3 = 22,5 \text{ kN}$
- **Peso próprio da alvenaria:** Depende do tipo de alvenaria e espessura. Supondo alvenaria de bloco com 10 cm, e considerando uma altura de 2,7m e uma largura de 25 cm (igual à largura da viga), temos um volume de $0,675 \text{ m}^3$. Considerando um peso específico da alvenaria de 18 kN/m^3 , temos um peso de 12,15 kN.
- **Sobrecarga:** Considerar a NBR 6118 para definir a sobrecarga adequada para o ambiente (por exemplo, 2 kN/m^2 para áreas de estar).
- **Carregamentos acidentais:** Considerar vento, sismo e outros carregamentos de acordo com a região e a importância da edificação.

2. Cálculo dos Momentos Fletores e Esforços Cortantes:

- **Diagrama de momentos fletores:** Utilizar um software de análise estrutural (como Eberick, TQS, etc.) para obter o momento fletor máximo ($M_{\text{máx}}$).
- **Diagrama de esforços cortantes:** Determinar o esforço cortante máximo ($V_{\text{máx}}$).

3. Dimensionamento da Armadura Longitudinal:

- **Cálculo da área de aço necessária (A_s):** Utilizar as equações da NBR 6118 e os resultados da análise estrutural.
- **Escolha das barras:** Escolher o diâmetro das barras e a quantidade necessária para obter a área de aço calculada.
- **Verificação da distância entre barras:** Verificar se a distância entre as barras atende aos limites estabelecidos pela norma.

4. Dimensionamento da Armadura Transversal:

- **Cálculo do espaçamento dos estribos:** Utilizar as equações da NBR 6118 para calcular o espaçamento máximo dos estribos para resistir ao esforço cortante máximo.
- **Escolha do diâmetro dos estribos:** Escolher o diâmetro dos estribos de acordo com a norma e com as dimensões da viga.

5. Verificação dos Estados Limites:

- **Estado limite último:** Verificar se a seção resiste aos esforços solicitantes sem ruir.
- **Estado limite de serviço:** Verificar se a seção atende aos requisitos de deformação e fissuração.

6. Detalhamento da Armadura:

- **Desenho da armadura:** Elaborar um desenho detalhado da viga, indicando a disposição das barras longitudinais e transversais, as ancoragens, as ligações com os pilares, etc.
- **Especificação da armadura:** Elaborar uma lista de material com a quantidade de cada tipo de barra de aço e de estribos.

COPILLOT



Copilot

✓ Gerando respostas para você...

Vamos pré-dimensionar e dimensionar uma viga bi-apoiada com vão de 6 metros, apoiada em pilares de 15x30 cm, e uma parede de 2,70 metros de altura acima. Utilizaremos um f_{ck} de 25 MPa e consideraremos a classe de agressividade ambiental IV.

Pré-Dimensionamento

1. Altura da Viga (h):

- Para vigas bi-apoiadas, uma regra prática é considerar a altura da viga como 1/10 do vão ¹.

$$h = \frac{6 \text{ m}}{10} = 0,6 \text{ m} = 60 \text{ cm}$$

2. Largura da Viga (bw):

- A largura da viga geralmente é dimensionada entre 1/3 e 1/2 da altura ¹.

$$bw = \frac{60 \text{ cm}}{3} = 20 \text{ cm}$$

Dimensionamento

1. Cálculo das Cargas:

- Peso Próprio da Viga:

$$\gamma_{\text{concreto}} = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Peso Próprio} = \gamma_{\text{concreto}} \times h \times bw = 25 \times 0,6 \times 0,2 = 3 \text{ kN/m}$$

- Carga da Parede:

- Supondo uma parede de alvenaria com espessura de 15 cm e densidade de 18 kN/m³:

$$\gamma_{\text{parede}} = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Altura da Parede} = 2,7 \text{ m}$$

$$\text{Carga da Parede} = \gamma_{\text{parede}} \times \text{espessura} \times \text{altura} = 18 \times 0,15 \times 2,7 = 7,29 \text{ kN/m}$$

- Carga Total:

$$\text{Carga Total} = \text{Peso Próprio} + \text{Carga da Parede} = 3 + 7,29 = 10,29 \text{ kN/m}$$

2. Momento Fletor Máximo (Mmax):

- Para uma viga bi-apoiada com carga distribuída:

$$M_{max} = \frac{q \times L^2}{8}$$

$$M_{max} = \frac{10,29 \times 6^2}{8} = 46,305 \text{ kN.m}$$

3. Dimensionamento da Armadura:

- Utilizando a fórmula do momento resistente:

$$M_{res} = 0,85 \times f_{cd} \times b_w \times d^2 \left(1 - \frac{a}{d} \right)$$

- Onde (f_{cd}) é a resistência de cálculo do concreto, (d) é a altura útil da viga (aproximadamente 0,9h), e (a) é a altura da linha neutra.
- Para simplificação, assumimos ($f_{cd} = 17, \text{MPa}$) (concreto C25):

$$d = 0,9 \times 60 = 54 \text{ cm}$$

$$M_{res} = 0,85 \times 17 \times 0,2 \times 0,54^2 \left(1 - \frac{a}{0,54} \right)$$

Área de Aço

1. Cálculo da Área de Aço (As):

- Utilizando a fórmula:

$$As = \frac{M_{max}}{0,87 \times f_{yd} \times d}$$

- Onde (f_{yd}) é a resistência de cálculo do aço (assumindo ($f_{yd} = 435, \text{MPa}$)):

$$As = \frac{46,305 \times 10^3}{0,87 \times 435 \times 54} \approx 2,17 \text{ cm}^2$$

Detalhamento

1. Distribuição das Barras de Aço:

- Para uma área de aço de $2,17 \text{ cm}^2$, podemos usar barras de diâmetro 12,5 mm ($\phi 12,5$):

$$A_{\text{barra}} = \frac{\pi \times (1,25)^2}{4} \approx 1,23 \text{ cm}^2$$

- Número de barras necessárias:

$$n = \frac{2,17}{1,23} \approx 2 \text{ barras}$$

2. Espaçamento e Cobertura:

- Verifique o espaçamento mínimo entre barras e a cobertura de concreto conforme a norma ABNT NBR 6118.

Esses cálculos fornecem uma base inicial para o dimensionamento da viga. É importante realizar uma análise detalhada e verificar os resultados conforme as normas técnicas vigentes para garantir a segurança e a eficiência estrutural.

DIMENSIONAMENTO ANALÍTICO DA VIGA

Dados iniciais

Nome da viga: V1

Dimensões da seção: 15 x 60

Classe do concreto C25 e do aço CA-50

Cobrimento $c = 2,5 \text{ cm}$ (Classe I)

Esquema estático

Dimensões dos apoios na direção do eixo da viga (22)

Vão teórico (600)

Nome dos apoios (V2 e V3).

Ações

As cargas, admitidas uniformes, são: peso próprio, reações das lajes e carga de parede.

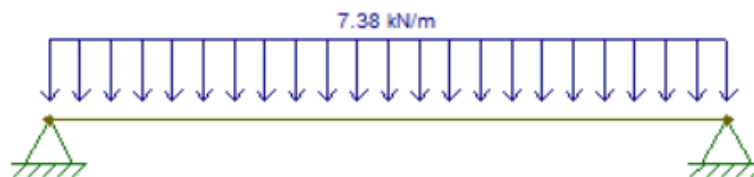
As partes das reações de apoio das lajes, relativas à carga variável, estão entre parênteses.

$$pp = 0,15 \times 0,60 \times 25 = 2,25 \text{ kN/m}$$

$$\text{parede} = 1,9 \times 2,70 = 5,13 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{carga total } p = 7,38 \text{ kN/m;}$$

carga variável $q = 2,5 \text{ kN/m}$



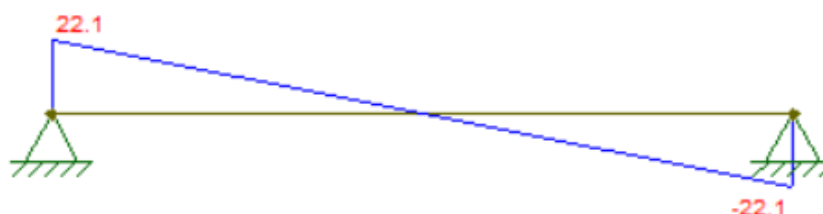
Esforços e diagramas

Numa viga biapoiada, o cálculo dos esforços é muito simples. Seus valores característicos

$$M_k = pl^2 / 8 = 7,38 \times 6^2 / 8 = 33,2 \text{ kN.m}$$



$$V_k = pl / 2 = 7,38 \times 6 / 2 = 22,14 \text{ kN}$$



Neste caso, as reações nos apoios V_2 e V_3 são iguais às forças cortantes nos eixos dos apoios. Portanto, seus valores são:

$$V_2 = 22,1 \text{ kN e } V_3 = 22,1 \text{ kN.}$$



Em seguida, são traçados os diagramas dos esforços de cálculo, cujos valores máximos são:

$$M_{d,max} = \gamma_f M_k = 1,4 \cdot 33,2 = 46,48 \text{ kN.m}$$

$$V_{d,eixo} = \gamma_f V_k = 1,4 \cdot 22,1 = 30,94 \text{ kN}$$

Verificações

Os esforços máximos $M_{d,max}$ e $V_{d,face}$ serão comparados com os valores de referência $M_{d,lim}$, V_{Rd2} e $V_{Sd,min}$, indicados na Figura 15.3, no alto, à direita.

a) Altura útil

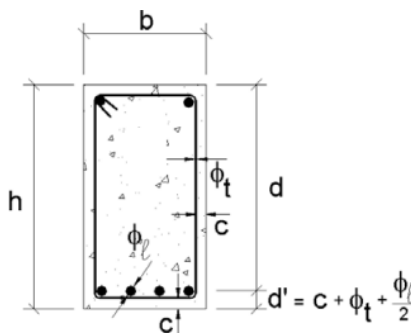
Para a seção indicada, tem-se:

$$d' = h - d = c + \phi_t + \phi_l / 2$$

Considerando $c = 2,5$ cm, $\phi_t = 1$ cm e $\phi_l = 1$ cm (ϕ_t e ϕ_l estimados), tem-se:

$$d' = 2,5 + 1,0 + 1,0 / 2 = 4,0 \text{ cm}$$

$$d = h - d' = 60 - 4,0 = 56 \text{ cm}$$



b) Momento máximo com armadura simples

PINHEIRO, 1993 – Tabela 1.1:

$$K_c = \frac{b * d^2}{M_{dmax}} = \frac{15 * 56^2}{4648 kN * cm} = 10,12$$

$$B = 0,08$$

$$K_s = 0,024$$

$$A_s = \frac{K_s * M_d}{d} = \frac{0,024 * 4648}{56} = 1,99 \text{ cm}^2$$

Número de barras

$$n = \frac{A_s}{A_{s\phi}}$$

Adotando a barra de 10 mm ($As_{10} = 0,785 \text{ cm}^2$)

$$n = \frac{As}{As_{\emptyset}} = \frac{1,99}{0,785} = 2,53$$

Será adotado 3 barras de 10 mm

Adotando a barra de 12,5 mm ($As_{12,5} = 1,23 \text{ cm}^2$)

$$n = \frac{As}{As_{\emptyset}} = \frac{1,99}{1,23} = 1,61$$

Será adotado 2 barras de 12,5 mm

APÊNDICE 7: escolha do tipo de laje

CHAT GPT



Para uma edificação residencial de baixo padrão, o tipo de laje mais indicado geralmente é a **laje pré-fabricada (ou laje treliçada)**. Isso se deve a alguns fatores que contribuem para a viabilidade técnica e econômica:

1. **Custo:** A laje pré-fabricada tem um custo menor em comparação com outros tipos de laje, pois utiliza blocos de enchimento (cerâmicos ou de EPS), o que reduz a quantidade de concreto e aço necessário.
2. **Facilidade de execução:** Esse tipo de laje é relativamente simples de montar, já que as treliças metálicas e os blocos de enchimento são pré-fabricados. Isso reduz o tempo e a mão-de-obra na obra.
3. **Leveza:** Por utilizar blocos de enchimento que são mais leves que o concreto maciço, a laje treliçada reduz o peso próprio da estrutura, o que pode diminuir a carga sobre as fundações.
4. **Isolamento térmico e acústico:** O uso de blocos de EPS (isopor) como enchimento pode melhorar o isolamento térmico e acústico, o que é uma vantagem em ambientes residenciais.
5. **Adaptação a pequenas edificações:** Esse tipo de laje é amplamente utilizado em edificações de pequeno porte, como residências unifamiliares, pois oferece boa resistência e atende às normas de segurança.

Outro tipo de laje que também pode ser considerado, dependendo do projeto e das condições locais, é a **laje maciça**, mas essa costuma ter um custo mais elevado em função da quantidade de concreto e armadura utilizados.

GEMINI



Qual o tipo de laje mais indicado para uma edificação residencial de baixo padrão?

A escolha do tipo de laje para uma edificação residencial de baixo padrão deve levar em consideração diversos fatores, como custo, rapidez de execução, mão de obra disponível, carga a ser suportada e o vão livre desejado.

Para edificações residenciais de baixo padrão, considerando os aspectos de custo e rapidez de execução, as lajes mais indicadas são:

- **Laje treliçada:** Por ser leve, de fácil instalação e apresentar bom custo-benefício.
- **Laje pré-moldada:** Se houver disponibilidade de empresas produtoras próximas à obra, pode ser uma opção interessante devido à rapidez de execução.

No entanto, a escolha final deve considerar outros fatores específicos de cada projeto, como:

- **Vão livre:** Para vãos maiores, a laje nervurada ou pré-moldada podem ser mais indicadas.
- **Carregamento:** Para cargas elevadas, a laje maciça pode ser mais adequada.
- **Disponibilidade de mão de obra:** Se a mão de obra especializada for escassa, a laje pré-moldada pode ser uma opção mais viável.
- **Orçamento:** O custo total da obra, incluindo materiais, mão de obra e equipamentos, deve ser avaliado.
- **Prazo de execução:** A necessidade de entregar a obra em um prazo curto pode influenciar a escolha da laje.

É fundamental que um profissional qualificado, como um engenheiro civil, avalie todas as variáveis e indique a solução mais adequada para cada caso específico.

Além da escolha do tipo de laje, outros aspectos importantes para edificações de baixo padrão são:

- **Uso de materiais locais:** Para reduzir custos com transporte e logística.
- **Simplificação dos projetos:** Utilizar projetos padronizados e soluções construtivas simples.
- **Otimização da mão de obra:** Utilizar técnicas construtivas que exijam menor qualificação da mão de obra.

Ao escolher a laje ideal, é importante buscar um equilíbrio entre custo, desempenho e rapidez de execução, garantindo a qualidade e a durabilidade da construção.

COPILLOT



Copilot

✓ Gerando respostas para você...

Para uma edificação residencial de baixo padrão, a laje treliçada é uma das opções mais indicadas. Este tipo de laje é composta por treliças metálicas ou pré-fabricadas em concreto, o que a torna leve e econômica ^[1]. Além disso, é fácil de instalar e oferece boa resistência.

Outra opção viável é a laje pré-moldada com poliestireno (isopor), que também é leve e proporciona um bom isolamento térmico ^[2]. Ambas as opções são práticas e ajudam a reduzir os custos da obra.

APÊNDICE 8: pré-dimensionamento de lajes pelo

CHAT GPT



Para o pré-dimensionamento de uma laje maciça em concreto armado com dimensões de 4 m x 4 m, é necessário seguir algumas etapas básicas que incluem a definição da espessura da laje, a verificação dos esforços e o dimensionamento da armadura. Vou guiar você através desse processo com base em normas e práticas usuais.

Passo 1: Definição da Espessura da Laje

Uma regra prática para a determinação da espessura (h) de lajes maciças é:

$$h = \frac{L_{\text{máx}}}{30}$$

Onde $L_{\text{máx}}$ é o maior vão da laje. Para uma laje quadrada, $L_{\text{máx}} = 4 \text{ m}$.

Substituindo:

$$h = \frac{4 \text{ m}}{30} = 0,133 \text{ m} \approx 13,3 \text{ cm}$$

Para fins de segurança, vamos adotar uma espessura mínima de 14 cm.

Passo 2: Determinação das Cargas na Laje

Vamos considerar as cargas permanentes e variáveis atuando na laje.

1. Peso Próprio da Laje:

$$g_1 = \gamma_c \times h = 25 \times 0,14 = 3,5 \text{ kN/m}^2$$

Onde γ_c é o peso específico do concreto (25 kN/m³).

2. Carga de revestimentos (considerando uma sobrecarga de 1 kN/m²):

$$g_2 = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

3. Sobrecarga de utilização: Dependendo do tipo de ambiente, vamos adotar uma sobrecarga de 2,0 kN/m² (uso residencial):

$$q = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

Carga total ($g_{\text{total}} + q$):

$$g_{\text{total}} = 3,5 + 1,0 = 4,5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{\text{total}} + q = 4,5 + 2,0 = 6,5 \text{ kN/m}^2$$

Passo 3: Verificação dos Esforços e Dimensionamento da Armadura

Como a laje é quadrada, ela é bidirecional. O momento máximo em uma laje bidirecional pode ser aproximado pela fórmula:

$$M = \frac{q \times L^2}{8}$$

Substituindo:

$$M = \frac{6,5 \times 4^2}{8} = 13 \text{ kN.m}$$

Passo 4: Dimensionamento da Armadura

A área de aço (A_s) necessária pode ser calculada pela fórmula:

$$A_s = \frac{M}{0,87 \times f_y \times d}$$

Assumindo $f_y = 500 \text{ MPa}$ e $d = h - \text{cobertura} - \frac{\phi}{2} \approx 14 - 2,5 - 0,5 = 11 \text{ cm}$:

$$A_s = \frac{13 \times 10^6}{0,87 \times 500 \times 110} \approx 270 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Passo 5: Quantidade e Distribuição das Barras

Vamos considerar barras de aço com diâmetro de 8 mm ($\phi = 8 \text{ mm}$):

- Área de uma barra de 8 mm:

$$A_{\text{barra}} = \frac{\pi \times (8)^2}{4} = 50,3 \text{ mm}^2$$

- Espaçamento entre as barras:

$$\text{Espaçamento} = \frac{A_{\text{barra}}}{A_s/\text{m}} = \frac{50,3}{270} \times 1000 \approx 186 \text{ mm}$$

Conclusão

- Espessura da laje: 14 cm
- Momento máximo: 13 kN.m
- Área de aço necessária: 270 mm²/m em ambas as direções
- Diâmetro das barras de aço: 8 mm
- Espaçamento das barras: 18,6 cm (aproximadamente 19 cm)

Esses valores são uma base para o pré-dimensionamento. Para um projeto final, recomenda-se uma análise mais detalhada, incluindo verificações  erço e estados limites últimos conforme a NBR 6118.

GEMINI

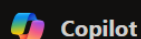
O cálculo da área de aço em lajes de bibliotecas exige uma análise cuidadosa das cargas, da geometria da laje e dos materiais utilizados. É fundamental seguir as normas técnicas e consultar um profissional habilitado para garantir a segurança e a durabilidade da estrutura.

Gostaria de aprofundar algum tópico específico sobre o dimensionamento de lajes de bibliotecas?

Possíveis tópicos a serem explorados:

- Cálculo de momentos fletores em lajes com cargas concentradas
- Verificação de flechas em lajes de bibliotecas
- Dimensionamento de lajes para resistir a vibrações
- Detalhes construtivos de lajes em bibliotecas

COPILLOT



✓ Gerando respostas para você...

Para o pré-dimensionamento de uma laje em concreto armado de 4m x 4m, podemos seguir algumas diretrizes básicas de acordo com a ABNT NBR 6118. Aqui estão os passos principais:

Passo 1: Determinação da Espessura da Laje

Para lajes maciças, a espessura mínima pode ser determinada pela fórmula:

$$h = \frac{L}{30}$$

onde (L) é o menor vão da laje. No seu caso, como a laje é quadrada, (L = 4 , \text{m}).

Portanto:

$$h = \frac{4}{30} = 0.133 \text{ m} = 13.3 \text{ cm}$$

Passo 2: Verificação da Espessura Mínima

De acordo com a NBR 6118, a espessura mínima para lajes de piso não em balanço é de 8 cm. Como 13.3 cm é maior que 8 cm, a espessura calculada está adequada.

Passo 3: Cálculo da Armadura

Para o cálculo da armadura, precisamos considerar a carga atuante na laje. Supondo uma carga distribuída (incluindo peso próprio da laje, revestimentos e cargas acidentais), podemos usar uma carga total aproximada de 5 kN/m².

A armadura pode ser calculada usando a fórmula:

$$A_s = \frac{M_d}{f_{yd} \cdot d}$$

Onde:

- (M_d) é o momento fletor de cálculo.
- (f_{yd}) é a resistência de cálculo do aço.
- (d) é a altura útil da laje (aproximadamente ($h - 2$, \text{cm})).

Para uma laje simplesmente apoiada, o momento fletor máximo é dado por:

$$M_d = \frac{q \cdot L^2}{8}$$

Substituindo os valores:

- ($q = 5$, \text{kN/m}^2)
- ($L = 4$, \text{m})

Temos:

$$M_d = \frac{5 \cdot 4^2}{8} = 10 \text{ kN} \cdot \text{m} = 10 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Supondo ($f_{yd} = 435$, MPa) e ($d = 13.3$, cm) - 2 , cm) = 11.3 , cm) = 0.113 , m) :

$$A_s = \frac{10 \times 10^3}{435 \times 0.113} \approx 0.203 \text{ cm}^2 = 203 \text{ mm}^2$$

Passo 4: Distribuição das Barras de Aço

Para distribuir as barras de aço, podemos usar barras de 10 mm de diâmetro, cuja área é aproximadamente 78.5 mm². Portanto, a quantidade de barras necessárias é:

$$n = \frac{203}{78.5} \approx 2.6$$

Arredondando para cima, precisamos de 3 barras de aço de 10 mm de diâmetro por metro.

Resumo

- **Espessura da laje:** 13.3 cm
- **Área de aço necessária:** 203 mm²/m
- **Quantidade de barras de 10 mm:** 3 barras/m

Esses cálculos são preliminares e devem ser verificados e ajustados conforme necessário por um engenheiro civil.

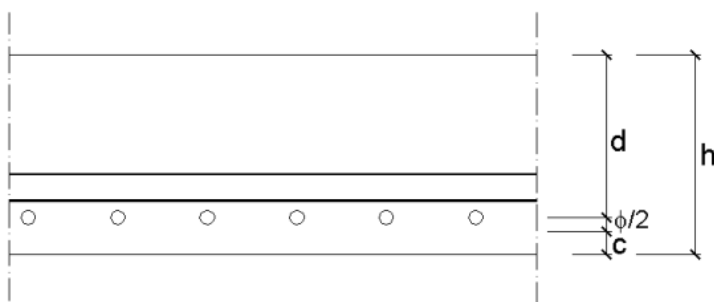
PRÉ-DIMENSIONAMENTO ANALÍTICO DA LAJE

$$h = d + \frac{\phi}{2} + c$$

$d \rightarrow$ altura útil da laje

$\phi \rightarrow$ diâmetro das barras

$c \rightarrow$ cobrimento nominal da armadura



Laje 4x4

$C = 2,5$ cm

$\phi = 1,0$ cm

$$d = (2,5 - 0,1 * n) * \frac{l}{100}$$

$$l \leq \begin{cases} l_x = 4,0 \text{ m} \\ 0,7 * l_y = 0,7 * 4,0 \text{ m} = 2,8 \text{ m} \end{cases}$$

$n \rightarrow$ número de bordas engastadas

$l_x \rightarrow$ menor vão

$l_y \rightarrow$ maior vão

$$d = (2,5 - 0,1 * n) * \frac{l}{100} = (2,5 - 0,1 * 4) * \frac{2,8\text{m}}{100} = 0,0588 \text{ m} = 5,88\text{cm}$$

Altura da laje

$$h = 5,88 \text{ cm} + \frac{1,0 \text{ cm}}{2} + 2,50 \text{ cm} = 8,88 \text{ cm} \approx 10 \text{ cm}$$

APÊNDICE 9: parâmetros de análises de pilares na fase de projetos

CHAT GPT



Para o dimensionamento de um pilar para uma casa de dois pavimentos no centro de Caraúbas/RN, vamos seguir os principais passos de cálculo, levando em consideração os critérios de segurança e economia, conforme a NBR 6118:2023. A seguir estão as etapas básicas:

1. Levantamento de Cargas Atuantes

Para determinar as cargas atuantes no pilar, é necessário considerar:

- **Cargas permanentes (G):** Peso próprio das estruturas, revestimentos, lajes, paredes, telhado, etc.
- **Cargas acidentais (Q):** Cargas variáveis, como ocupação, móveis, etc. Para uma residência, a NBR 6120 recomenda uma carga acidental de $1,5 \text{ kN/m}^2$ para pavimentos residenciais.
- **Cargas de vento (se aplicável):** De acordo com a NBR 6123, deve-se verificar a necessidade de considerar vento em edificações mais altas, embora para uma casa de dois pavimentos isso geralmente seja pequeno.

2. Esforços Solicitantes

A partir das cargas levantadas, calcula-se o esforço normal (N), o momento fletor (M) e o esforço cortante (V) no pilar, que dependem da distribuição das cargas nos pavimentos e na posição dos pilares.



3. Dimensionamento do Pilar

Para o dimensionamento do pilar, é preciso definir uma seção inicial e verificar se ela é adequada em termos de resistência. Vamos adotar uma seção retangular de concreto armado com f_{ck} de 25 MPa e aço CA-50 ($f_y = 500 \text{ MPa}$).

Passos para o cálculo:

- **Passo 1: Definir as dimensões da seção do pilar (b x h):** Para uma casa de dois pavimentos, uma seção inicial comum é $19 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ (dimensões usuais para este tipo de edificação).
- **Passo 2: Cálculo da área de aço (A_s):** Com base no esforço normal solicitante (N_{sd}) e nas combinações de ações (permanente + acidental), calcula-se a área de aço necessária. Uma fórmula básica para o dimensionamento do aço é:

$$N_{sd} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot (A_c + \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \cdot A_s)$$

Onde:

- N_{sd} = esforço normal de cálculo
- $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$ = resistência de cálculo do concreto
- A_c = área de concreto
- $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s}$ = resistência de cálculo do aço
- A_s = área de aço necessária

Inicialmente, adota-se cerca de 0,8% a 2% da área total da seção para a armadura longitudinal.

- **Passo 3: Verificação das tensões de compressão no concreto:** O pilar deve ser verificado quanto à resistência ao esforço normal. Isso é feito comparando o esforço normal atuante com a capacidade de resistência da seção de concreto e armadura.
- **Passo 4: Verificação da esbeltez:** Para verificar a esbeltez do pilar, calcula-se o índice de esbeltez (λ), que é a relação entre a altura do pilar (L) e o raio de giração (i) da seção transversal. Se $\lambda > 90$, o pilar é considerado esbelto e devem ser feitas verificações adicionais quanto à estabilidade global.

4. Verificações Adicionais

- **Verificação de estabilidade global:** Especialmente se o pilar for considerado esbelto.
- **Detalhamento da armadura transversal:** Estribos devem ser posicionados adequadamente para garantir a segurança ao cisalhamento e evitar flambagem da armadura longitudinal.

Exemplo Numérico (Simplificado):

Se o esforço normal atuante N_{sd} for de 300 kN para o pilar, adotando um f_{ck} de 25 MPa, a área de concreto será:

$$A_c = 19 \times 30 = 570 \text{ cm}^2$$

Para um consumo médio de aço (1%), a área de aço A_s seria de:

$$A_s = 1\% \times 570 \text{ cm}^2 = 5,7 \text{ cm}^2$$

Ou seja, pode-se distribuir barras de aço CA-50 para alcançar essa área, como por exemplo:

- 4 barras de 12,5 mm de diâmetro = $4 \times 1,23 \text{ cm}^2 = 4,92 \text{ cm}^2$
- Estribos de 5 mm a cada 15 cm (por exemplo).

GEMINI



Dimensionamento de um Pilar para Casa de Dois Pavimentos em Caraúbas/RN

O dimensionamento de um pilar para uma casa de dois pavimentos em Caraúbas/RN envolve diversos fatores e requer um estudo detalhado por um profissional habilitado.

Fatores a serem considerados:

- **Carregamentos:**

- Peso próprio da estrutura (lajes, vigas, pilares)
- Peso próprio dos revestimentos (pisos, paredes, tetos)
- Sobrecargas de uso (móveis, pessoas)
- Ações ambientais (vento, sismo)

- **Material:**

- Tipo de concreto (f_{ck})
- Tipo de aço (CA-50, CA-60)

- **Geometria da seção:**

- Forma da seção (circular, quadrada, retangular)
- Dimensões da seção (largura e altura)

- **Armadura:**

- Quantidade de aço longitudinal e transversal
- Diâmetro das barras
- Distribuição da armadura

- **Vãos:**

- Distância entre os pilares

- **Número de pavimentos:**

- Aumento das cargas com o número de pavimentos

- **Condições de apoio:**

- Engastamento ou articulação dos pilares

- **Classe de agressividade do ambiente:**

- Influencia na durabilidade da estrutura e na escolha dos materiais

- **Normas técnicas:**

- NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto

Etapas do dimensionamento:

1. **Levantamento dos dados:** Coletar todas as informações relevantes sobre o projeto, como plantas, cargas, materiais e condições locais.
2. **Cálculo dos esforços:** Determinar as forças internas que atuam no pilar (forças axiais, momentos fletores, forças cortantes).
3. **Escolha da seção:** Selecionar a forma e as dimensões da seção transversal do pilar, considerando os esforços atuantes e os requisitos da norma.
4. **Dimensionamento da armadura:** Calcular a quantidade e a disposição da armadura longitudinal e transversal, garantindo a resistência e a ductilidade do pilar.
5. **Verificação dos estados limites:** Verificar se o pilar atende aos requisitos de resistência, deformação e durabilidade estabelecidos pela norma.
6. **Detalhamento da armadura:** Elaborar os desenhos de detalhamento da armadura, indicando as dimensões, a quantidade e a disposição das barras.

Software de análise estrutural:

O uso de softwares de análise estrutural, como o Eberick, o TQS ou o Revit, facilita o cálculo dos esforços e o dimensionamento dos elementos estruturais.

Importância da análise sísmológica:

Em regiões sísmicas como o Rio Grande do Norte, a análise sísmológica é fundamental para garantir a segurança da edificação. As forças sísmicas devem ser consideradas no dimensionamento dos pilares e de toda a estrutura.

Observações:

- **Profissional habilitado:** O dimensionamento de pilares deve ser realizado por um engenheiro civil com experiência em estruturas de concreto armado.
- **Inspeção local:** É importante realizar uma inspeção no local da obra para verificar as condições do solo e as características do terreno.
- **Normas técnicas:** A NBR 6118 deve ser rigorosamente seguida para garantir a segurança da edificação.

Conclusão:

O dimensionamento de um pilar é um processo complexo que requer conhecimento técnico e experiência. É fundamental que todos os fatores envolvidos sejam considerados para garantir a segurança e a durabilidade da estrutura.

Recomenda-se que você procure um engenheiro civil para realizar o dimensionamento do pilar da sua casa em Caraúbas/RN.

Gostaria de saber mais sobre algum aspecto específico do dimensionamento de pilares?

COPILLOT



Copilot

✓ Gerando respostas para você...

Para dimensionar um pilar para uma casa de dois pavimentos, é importante considerar alguns fatores como a carga que o pilar vai suportar, a área de influência e as normas técnicas aplicáveis. Aqui estão alguns passos gerais para o pré-dimensionamento:

1. **Cálculo da Carga:** Estime a carga total que o pilar vai suportar. Para edifícios residenciais, uma carga típica pode ser de 12 kN/m² para os pavimentos tipo ^[1].
2. **Área de Influência:** Determine a área de influência do pilar, que é a área do pavimento que contribui para a carga no pilar ^[1].
3. **Dimensões Mínimas:** De acordo com a NBR 6118, a seção transversal mínima para pilares em concreto armado não deve ser inferior a 360 cm², com a menor dimensão não inferior a 19 cm ^[2].
4. **Pré-Dimensionamento:** Utilize a fórmula para pré-dimensionar a seção do pilar:
 - Para uma carga (N_k) e uma tensão admissível (f_{cd}), a área da seção (A_c) pode ser calculada como:

$$A_c = \frac{N_k}{f_{cd}}$$
 - Considere um coeficiente de segurança adicional para pilares esbeltos, conforme indicado na norma ^[2].
5. **Verificação Estrutural:** Após o pré-dimensionamento, é essencial realizar uma análise estrutural detalhada para verificar a segurança e a estabilidade do pilar.

Esses são passos iniciais e simplificados. Para um dimensionamento preciso, é recomendável consultar um engenheiro civil especializado.

APÊNDICE 10: dimensionamento de pilar

CHAT GPT



Para o dimensionamento de um pilar com seção de 15 cm x 30 cm, utilizando um f_{ck} de 25 MPa, um vão entre pilares de 4 metros e submetido a uma carga de 450 kN, vamos seguir as etapas de cálculo conforme a NBR 6118:2023.

1. Definições Iniciais

- Seção transversal: 15 cm x 30 cm $\rightarrow$ Área de concreto $A_c = 15 \times 30 = 450 \text{ cm}^2$.
- Altura útil do pilar: 4 m (400 cm).
- Carga total atuante: 450 kN (carga de cálculo).

2. Cálculo do Esforço Normal de Cálculo (N_{sd})

Já temos a carga total $N_{sd} = 450 \text{ kN}$ aplicada diretamente no pilar.

3. Cálculo da Resistência de Cálculo do Concreto (f_{cd})

A resistência de cálculo do concreto é dada por:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25 \text{ MPa}}{1,4} = 17,86 \text{ MPa}$$

4. Área de Aço (A_s)

A equação simplificada para o cálculo da área de aço necessária pode ser expressa como:

$$N_{sd} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot A_c + f_{yd} \cdot A_s$$

Onde:

- $f_{cd} = 17,86 \text{ MPa}$ é a resistência de cálculo do concreto.
- $A_c = 450 \text{ cm}^2$ é a área da seção de concreto.
- $f_{yd} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$ é a resistência de cálculo do aço CA-50.
- A_s é a área de aço longitudinal a ser dimensionada.

Substituímos os valores conhecidos:

$$450 = 0,85 \cdot 17,86 \cdot 450 + 434,78 \cdot A_s$$

Primeiro, calculamos a contribuição do concreto:

$$0,85 \cdot 17,86 \cdot 450 = 6819,87 \text{ kN}$$

Substituímos na equação de equilíbrio de forças:

$$450 = 6819,87 + 434,78 \cdot A_s$$

Agora isolamos A_s :

$$434,78 \cdot A_s = 450 - 6819,87$$

$$434,78 \cdot A_s = -6369,87$$

Como o valor é negativo, indica que o pilar de concreto sozinho (sem aço) já resistiria à carga aplicada. Isso sugere que o concreto suporta totalmente o esforço normal de 450 kN. Porém, como o pilar está sujeito a outras verificações, como flambagem e deslocamento lateral, é necessário garantir uma armadura mínima.

5. Armadura Mínima

A NBR 6118 define uma armadura mínima de aproximadamente 0,15% a 0,40% da área da seção de concreto para pilares.

Para calcular a armadura mínima, adotamos 0,15%:

$$A_s = 0,0015 \times A_c = 0,0015 \times 450 = 0,675 \text{ cm}^2$$

Isso corresponde a uma pequena área de aço que pode ser distribuída com barras de diâmetro adequado. Por exemplo, utilizando 4 barras de 8 mm de diâmetro, temos:

- Área de uma barra de 8 mm $\approx 0,5 \text{ cm}^2$
- Para 4 barras: $4 \times 0,5 = 2,0 \text{ cm}^2$

Portanto, 4 barras de 8 mm são suficientes para atender à armadura mínima necessária para este pilar.

6. Verificação de Esbeltez

Para verificar a esbeltez do pilar, calculamos o índice de esbeltez λ :

$$\lambda = \frac{L_0}{i}$$

Onde:

- $L_0 = 400 \text{ cm}$ é o comprimento do pilar (altura entre pavimentos).
- i é o raio de giração da seção e pode ser aproximado por $i = \frac{h}{\sqrt{12}}$, onde $h = 15 \text{ cm}$ (menor dimensão da seção).

Calculamos i :

$$i = \frac{15}{\sqrt{12}} = 4,33 \text{ cm}$$

Agora calculamos a esbeltez:

$$\lambda = \frac{400}{4,33} = 92,38$$

O valor de $\lambda = 92,38$ está próximo do limite de 90, indicando que o pilar pode ser considerado esbelto. Nesse caso, deve-se considerar verificações adicionais de flambagem, utilizando métodos de análise de segunda ordem.

7. Estribo

Os estribos devem ser projetados para garantir confinamento adequado do concreto e resistência ao cisalhamento. Para esse pilar, adotar estribos de 5 mm a cada 15 cm seria uma solução comum.

Resumo do Dimensionamento:

- Seção: 15 cm x 30 cm.
- Armadura longitudinal: 4 barras de 8 mm de diâmetro (área de aço $A_s \approx 2,0 \text{ cm}^2$).
- Estribos: 5 mm a cada 15 cm.

Esse pilar atende às condições de carga e proporciona uma solução segura e econômica.

GEMINI

**Dimensionamento de um Pilar: Uma Abordagem Detalhada**

Disclaimer: O dimensionamento de elementos estruturais requer um conhecimento profundo de cálculo estrutural e das normas técnicas. As informações aqui fornecidas têm caráter ilustrativo e não substituem a análise detalhada por um profissional habilitado. **É fundamental que um engenheiro civil realize o dimensionamento completo e adequado para garantir a segurança da estrutura.**

Dados do Problema:

- **Seção do pilar:** 15 cm x 30 cm
- **Resistência característica do concreto:** $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
- **Vão entre pilares:** 4 m
- **Carga axial de compressão:** 450 kN

Etapas do Dimensionamento:**1. Verificação da Adequação da Seção:**

- **Cálculo da área da seção:** $A = 0,15 \text{ m} \times 0,30 \text{ m} = 0,045 \text{ m}^2$
- **Cálculo da tensão normal:** $\sigma = N / A = 450 \text{ kN} / 0,045 \text{ m}^2 \approx 10.000 \text{ kPa}$
- **Comparação com a resistência à compressão do concreto:** A tensão normal calculada é inferior à resistência característica do concreto (25 MPa).
Portanto, a seção resiste à carga axial de compressão.

2. Verificação da Esbeltez:

- **Cálculo da esbeltez:** $\lambda = l / i$, onde l é o comprimento livre de flambagem e i é o raio de giração da seção.
- **Verificação dos limites de esbeltez:** A esbeltez deve estar dentro dos limites estabelecidos pela NBR 6118 para evitar a flambagem do pilar.

3. Dimensionamento da Armadura Longitudinal:

- **Cálculo da área de aço mínima:** A área de aço mínima é definida pela NBR 6118 em função da área da seção de concreto.
- **Cálculo da área de aço necessária:** Considerando a interação entre o aço e o concreto, calcula-se a área de aço necessária para resistir à carga axial.
- **Escolha das barras:** Escolher as barras de aço com diâmetro adequado para atender à área de aço calculada.
- **Distribuição das barras:** Distribuir as barras de aço uniformemente na seção transversal do pilar.

4. Dimensionamento da Armadura Transversal:

- **Cálculo da área de aço transversal:** A área de aço transversal é calculada para resistir às forças cortantes e conter a fissuração do concreto.
- **Escolha dos estribos:** Escolher o diâmetro e o espaçamento dos estribos de acordo com a norma.

5. Verificação dos Estados Limites:

- **Estado Limite Último (ELU):** Verificar se a seção resiste à carga axial de compressão sem falhar por esmagamento do concreto ou ruptura da armadura.
- **Estado Limite de Serviço (ELS):** Verificar se as deformações e as fissuras são admissíveis.

Observações Importantes:

- **Simplificações:** O dimensionamento apresentado é uma simplificação e não considera todos os aspectos envolvidos em um dimensionamento real.
- **Influência de Momentos Fletores:** Se o pilar estiver sujeito a momentos fletores, o dimensionamento se torna mais complexo, exigindo a consideração da interação entre a flexão e a compressão.
- **Norma NBR 6118:** A NBR 6118 estabelece os critérios mínimos para o projeto de estruturas de concreto armado e deve ser consultada para um dimensionamento completo e preciso.
- **Software de Análise Estrutural:** O uso de softwares de análise estrutural facilita o cálculo dos esforços e o dimensionamento dos elementos estruturais.

Conclusão:

O dimensionamento de um pilar é um processo complexo que exige conhecimento técnico e experiência. **É fundamental que um engenheiro civil realize o dimensionamento completo e adequado para garantir a segurança da estrutura.**

As informações fornecidas neste documento têm caráter ilustrativo e não substituem a análise detalhada por um profissional habilitado.

Para um dimensionamento preciso, são necessárias informações adicionais, como:

- **Condições de contorno do pilar:** Engastado, articulado ou outro tipo de apoio.
- **Carregamentos adicionais:** Cargas acidentais, efeitos de vento, sismo, etc.
- **Classe de agressividade do ambiente:** Influencia na escolha dos materiais e na proteção da armadura.
- **Requisitos de projeto:** Aberturas, passagem de instalações, etc.

Recomenda-se que você procure um engenheiro civil para realizar o dimensionamento do pilar da sua obra.

COPILLOT



Copilot

✓ Gerando respostas para você...

Para dimensionar um pilar com as especificações fornecidas (seção de 15x30 cm, f_{ck} de 25 MPa, vão entre pilares de 4 m e carga de 450 kN), podemos seguir os seguintes passos:

1. Cálculo da Área da Seção Transversal:

- A área da seção transversal (A_c) é dada por:

$$A_c = b \times h = 0,15 \text{ m} \times 0,30 \text{ m} = 0,045 \text{ m}^2$$

2. Cálculo da Tensão de Projeto do Concreto:

- A tensão de projeto do concreto (f_{cd}) é calculada considerando um coeficiente de segurança (γ_c) de 1,4:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25 \text{ MPa}}{1,4} \approx 17,86 \text{ MPa}$$

3. Verificação da Tensão no Pilar:

- A tensão no pilar (σ_c) é dada por:

$$\sigma_c = \frac{N_k}{A_c} = \frac{450 \text{ kN}}{0,045 \text{ m}^2} = 10 \text{ MPa}$$

- Como (σ_c) (10 MPa) é menor que (f_{cd}) (17,86 MPa), o pilar está seguro em termos de compressão simples.

4. Verificação de Esbeltez:

- A esbeltez do pilar é dada por:

$$\lambda = \frac{L_0}{i} = \frac{L_0}{\sqrt{\frac{I}{A}}}$$

Onde (L_0) é o comprimento de flambagem (considerando 4 m) e (i) é o raio de giração. Para uma seção retangular:

$$i = \sqrt{\frac{b \times h^3}{12 \times A}} = \sqrt{\frac{0,15 \times (0,30)^3}{12 \times 0,045}} \approx 0,086 \text{ m}$$

Então:

$$\lambda = \frac{4 \text{ m}}{0,086 \text{ m}} \approx 46,5$$

- Como a esbeltez é menor que 90, o pilar pode ser considerado curto e a verificação de flambagem não é necessária.

5. Armadura Longitudinal:

- Para determinar a quantidade de aço necessária, utilizamos a fórmula:

$$A_s = \frac{N_k}{f_{yd}} = \frac{450 \text{ kN}}{435 \text{ MPa}} \approx 1034 \text{ mm}^2$$

Onde (f_{yd}) é a tensão de escoamento do aço (considerando 435 MPa).

Esses cálculos são simplificados e servem como uma base inicial. Para um dimensionamento completo e seguro, é essencial realizar uma análise detalhada conforme as normas técnicas (NBR 6118) e consultar um engenheiro civil especializado.

DIMENSIONAMENTO ANALÍTICO DO PILAR

$$N_k = 450 \text{ kN}$$

Seção 15x30

$$l_{ex} = l_{ey} = 400 \text{ cm}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

a) Esforços solicitantes

A força normal de cálculo é:

$$Nd = \gamma_f \cdot Nk = 1,0 \cdot 1,4 \cdot 450 = 630 \text{ kN}$$

b) Índice de esbeltez

$$\lambda_x = \frac{3,46 \cdot le_x}{h_x} = \frac{3,46 \cdot 400}{30} = 46,13$$

$$\lambda_y = \frac{3,46 \cdot le_y}{h_y} = \frac{3,46 \cdot 400}{15} = 92,26$$

c) Momento fletor mínimo

O momento fletor mínimo, em cada direção, é calculado com:

$$M1d, \text{mín} = Nd (1,5 + 0,03 h)$$

$$\text{Dir. x: } M1d, \text{mín}_x = Nd (1,5 + 0,03 h) = 630(1,5 + 0,03 \cdot 30) = 1512 \text{ kN.cm}$$

$$e1x, \text{mín} = \frac{M1d, \text{mín}_x}{Nd} = \frac{1512}{630} = 2,4 \text{ cm}$$

$$\text{Dir. y: } M1d, \text{mín}_y = Nd (1,5 + 0,03 h) = 630(1,5 + 0,03 \cdot 15) = 1228,5 \text{ kN.cm}$$

$$e1y, \text{mín} = \frac{M1d, \text{mín}_y}{Nd} = \frac{1228,5}{630} = 1,95 \text{ cm}$$

Esbeltez limite

$$\lambda_1 = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{e_1}{h}}{\alpha_b} \quad \text{com } 35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_{1x} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{2,4}{30}}{1,0} = 26,00$$

$$\lambda_{1y} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{1,95}{15}}{1,0} = 26,63$$

Desse modo:

$\lambda_x = 46,13 > \lambda_{1,x} \rightarrow \therefore$ são considerados os efeitos locais de 2ª ordem na direção x; $\lambda_y = 92,26 > \lambda_{1,y} \rightarrow \therefore$ são considerados os efeitos locais de 2ª ordem na direção y.

d) Momento fletor de 2a ordem

O momento de 2a ordem será avaliado pelos métodos do pilar-padrão com curvatura aproximada e do pilar-padrão com rigidez κ aproximada.

d1) Método do pilar-padrão com curvatura aproximada

$$M_{d,tot} = \alpha_b * M_{1d,A} + N_d * \frac{l_e^2}{10 * r} \geq \begin{cases} M_{1d,A} \\ M_{1d,min} \end{cases}, e \quad M_{1d,A} > M_{1d,min}$$

Força normal adimensional:

$$v = \frac{N_d}{A_c * Fcd} = \frac{630}{450 * \frac{2,5}{1,4}} = 0,98$$

Curvatura na direção x sujeita aos momentos fletores de 2a ordem

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h(v + 0,5)} = \frac{0,005}{30(0,98 + 0,5)} = 1,126 \times 10^{-4} cm^{-1} \leq \frac{0,005}{30} = 1,67 \times 10^{-4} cm^{-1}$$

$\rightarrow OK!$

Curvatura na direção y sujeita aos momentos fletores de 2a ordem

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h(v + 0,5)} = \frac{0,005}{15(0,98 + 0,5)} = 2,25 \times 10^{-4} cm^{-1} \leq \frac{0,005}{30} = 3,33 \times 10^{-4} cm^{-1}$$

$\rightarrow OK!$

A excentricidade máxima de 2a ordem na direção x é:

$$e_{2x} = \frac{l_e^2}{10} * \frac{1}{r} = \frac{(400cm)^2}{10} * 1,126 \times 10^{-4} cm^{-1} = 1,80 \text{ cm}$$

A excentricidade máxima de 2a ordem na direção y é:

$$e_{2y} = \frac{l_e^2}{10} * \frac{1}{r} = \frac{(400cm)^2}{10} * 2,25 \times 10^{-4} cm^{-1} = 3,6 \text{ cm}$$

Com $\alpha_b = 1,0$ e fazendo $M_{1d,A} = M_{1d,min}$ em cada direção, tem-se os momentos fletores totais em cada direção principal do pilar:

$$\text{Dir. x: } M_{d,tot,x} = \alpha_b * M_{1d,A} + N_d * \frac{l_e^2}{10 * r} = 1,0 * 1512 \text{ kN.cm} + 630 * \frac{400^2}{10} * 1,126 \times 10^{-4} cm^{-1}$$

$$M_{d,tot,x} = 2647 \text{ kN.cm} > M_{1d,mínx} = 1512 \text{ kN.cm} \rightarrow OK!$$

$$\text{Dir. y: } M_{d,tot,y} = \alpha_b * M_{1d,A} + N_d * \frac{l_e^2}{10 * r} = 1,0 * 1228,5 \text{ kN.cm} + 630 * \frac{400^2}{10} * 2,25 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$M_{d,tot,y} = 3496,5 \text{ kN.cm} > M_{1d,míny} = 1228,5 \text{ kN.cm} \rightarrow OK!$$

O valor adimensional μ pode ser calculado em função do momento fletor ou da excentricidade, como feito na sequência:

Dir. x:

$$\mu = \frac{M_{d,tot,x}}{h_x * A_c * Fcd} = \frac{2647}{30 * 450 * \frac{2,5}{1,4}} = 0,137; \quad \frac{d'_x}{h_x} = \frac{3,0}{30} = 0,10$$

$$v = 0,98; \quad \text{Pelo ábaco A - 25 (VENTURINI, 1987)} \quad \omega = 0,65$$

$$A_s = \frac{\omega * A_c * Fcd}{F_y d} = \frac{0,65 * 450 * \frac{2,5}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} = 9,61 \text{ cm}^2$$

Dir. y:

$$\mu = \frac{M_{d,tot,y}}{h_x * A_c * Fcd} = \frac{3496,5}{15 * 450 * \frac{2,5}{1,4}} = 0,363; \quad \frac{d'_x}{h_x} = \frac{3,0}{15} = 0,2$$

$$v = 0,98; \quad \text{Pelo ábaco A - 4 (VENTURINI, 1987)} \quad \omega = 1,4$$

$$A_s = \frac{\omega * A_c * Fcd}{F_y d} = \frac{1,4 * 450 * \frac{2,5}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} = 20,7 \text{ cm}^2$$

APÊNDICE 11: Dimensões dos pilares de acordo com a quantidade de pavimentos

CHAT GPT



As dimensões de pilares em concreto armado variam de acordo com diversos fatores, incluindo a quantidade de pavimentos da edificação, as cargas atuantes, e as normas de segurança. Embora não haja uma regra fixa para as dimensões dos pilares baseadas exclusivamente no número de pavimentos, algumas diretrizes gerais podem ser seguidas para assegurar a estabilidade estrutural. A **NBR 6118:2023** fornece parâmetros para o cálculo e dimensionamento de pilares, mas, na prática, as dimensões mínimas costumam seguir algumas recomendações comuns baseadas na quantidade de pavimentos.

Regras Gerais para Dimensões de Pilares:

1. Pilares de edificações até 4 pavimentos (baixa altura)

- Para edifícios de pequeno porte (1 a 4 pavimentos), as dimensões mínimas típicas dos pilares são:
 - 25 cm x 25 cm ou 20 cm x 30 cm.
- Em áreas onde as cargas não são tão elevadas, como edifícios residenciais simples, pode-se usar essas seções, respeitando o limite mínimo de armaduras e cobrimento.

2. Pilares para edificações de 5 a 8 pavimentos (média altura)

- Para edificações de porte médio, as cargas aumentam, e as seções dos pilares precisam ser maiores. Dimensões comuns são:
 - 25 cm x 40 cm, 30 cm x 30 cm, ou 30 cm x 40 cm.
- As dimensões podem variar dependendo da distribuição de cargas e das condições de fundação.

3. Pilares para edificações acima de 8 pavimentos (alta altura)

- Para prédios altos, os pilares devem resistir a cargas muito maiores, o que demanda seções transversais maiores para garantir estabilidade. Dimensões recomendadas são:
 - 40 cm x 40 cm, 40 cm x 60 cm, ou mais, dependendo do projeto estrutural.
- À medida que o número de pavimentos aumenta, a necessidade de seções maiores ou de pilares reforçados (uso de pilares mistos, de concreto e aço) pode ser necessária.

Fatores que influenciam as dimensões dos pilares:

1. **Cargas atuantes:** As cargas permanentes (peso próprio, revestimentos, lajes) e as variáveis (como sobrecargas de uso) devem ser consideradas no dimensionamento.
2. **Distribuição de pavimentos:** Pilares centrais e de borda podem ter dimensões diferentes, já que os esforços variam conforme sua posição na edificação.
3. **Agressividade ambiental:** A classe de agressividade do ambiente pode exigir um aumento no cobrimento de concreto, o que afeta a seção dos pilares.
4. **Esbeltez:** Em edifícios com grandes alturas, a relação entre o comprimento do pilar e a menor dimensão da sua seção deve ser controlada para evitar flambagem. Pilares esbeltos podem precisar de seções maiores para garantir a rigidez adequada.
5. **Características do solo e tipo de fundação:** Edificações em solos menos resistentes podem precisar de pilares mais robustos para distribuir as cargas adequadamente, especialmente em fundações rasas.

Resumo de Dimensões Sugeridas:

- 1 a 4 pavimentos: 25 cm x 25 cm ou 20 cm x 30 cm.
- 5 a 8 pavimentos: 25 cm x 40 cm, 30 cm x 30 cm ou 30 cm x 40 cm.
- Acima de 8 pavimentos: 40 cm x 40 cm, 40 cm x 60 cm, ou mais, conforme necessário.

Essas dimensões são indicativas e devem ser confirmadas por meio de cálculos detalhados conforme as normas, sempre levando em conta as particularidades do projeto estrutural, as cargas atuantes, e as condições do terreno.

GEMINI



Dimensões de Pilares em Função da Quantidade de Pavimentos: Uma Análise

A escolha das dimensões de pilares em concreto armado é um processo complexo que depende de diversos fatores, como:

- **Número de pavimentos:** Quanto maior o número de pavimentos, maiores as cargas que o pilar precisa suportar, geralmente exigindo seções maiores.
- **Vãos:** A distância entre os pilares influencia a altura das vigas e, consequentemente, as cargas transmitidas aos pilares.
- **Tipo de estrutura:** Edifícios residenciais, comerciais e industriais possuem diferentes características de carregamento e exigem projetos específicos.
- **Material utilizado:** O tipo de concreto e aço influencia a resistência dos elementos estruturais.
- **Condições de contorno:** As condições de apoio dos pilares (engastados, articulados) afetam o comportamento estrutural.

- **Normas técnicas:** A NBR 6118 estabelece os critérios mínimos para o projeto de estruturas de concreto armado, incluindo dimensões mínimas para os pilares.

Não existe uma regra única para definir as dimensões de pilares em função do número de pavimentos, pois cada projeto possui suas particularidades. No entanto, algumas tendências e considerações gerais podem ser observadas:

- **Edifícios de poucos pavimentos:** Geralmente, pilares com seções menores podem ser utilizados, pois as cargas são menores.
- **Edifícios de muitos pavimentos:** À medida que o número de pavimentos aumenta, as seções dos pilares tendem a aumentar para suportar as cargas mais elevadas.
- **Pilares de fundação:** Os pilares que transmitem as cargas para a fundação geralmente possuem seções maiores, pois concentram as cargas de toda a estrutura.

Fatores que influenciam as dimensões dos pilares:

- **Carregamentos:** As cargas provenientes das lajes, vigas, paredes e equipamentos devem ser consideradas no dimensionamento dos pilares.
- **Momentos fletores:** Além da força axial de compressão, os pilares estão sujeitos a momentos fletores, que devem ser considerados no dimensionamento.
- **Esbeltez:** A relação entre a altura e a menor dimensão da seção transversal do pilar influencia a sua estabilidade. Pilares esbeltos são mais propensos à flambagem.
- **Rigidez:** A rigidez do pilar influencia a distribuição das cargas na estrutura e a deformação dos elementos estruturais.

Normas técnicas:

A NBR 6118 estabelece as seguintes dimensões mínimas para pilares:

- **Menor dimensão:** 14 cm.
- **Área da seção transversal:** 360 cm².

Observações:

- **Dimensionamento preciso:** O dimensionamento preciso dos pilares deve ser realizado por um profissional qualificado, utilizando softwares de análise estrutural e considerando todas as particularidades do projeto.
- **Análise estrutural:** A análise estrutural permite determinar as forças internas que atuam nos pilares e dimensioná-los de forma segura e econômica.
- **Detalhes construtivos:** A execução dos pilares deve seguir as normas técnicas e as especificações do projeto, garantindo a qualidade e a durabilidade da estrutura.

COPILLOT



Copilot

✓ Gerando respostas para você...

As dimensões dos pilares em concreto armado variam conforme a quantidade de pavimentos do edifício, pois a carga que cada pilar precisa suportar aumenta com o número de andares. Aqui estão algumas diretrizes gerais para o pré-dimensionamento de pilares:

1. Edifícios de até 4 pavimentos:

- Dimensão mínima: 19 cm x 19 cm
- Área mínima da seção transversal: 360 cm² ¹

2. Edifícios de 5 a 10 pavimentos:

- Dimensão mínima: 25 cm x 25 cm
- Área mínima da seção transversal: 625 cm² ²

3. Edifícios de 11 a 20 pavimentos:

- Dimensão mínima: 30 cm x 30 cm
- Área mínima da seção transversal: 900 cm² ²

4. Edifícios acima de 20 pavimentos:

- Dimensão mínima: 40 cm x 40 cm
- Área mínima da seção transversal: 1600 cm² ²

Essas dimensões são indicativas e podem variar dependendo das cargas específicas, do tipo de uso do edifício, e das normas locais de construção. É sempre importante realizar um cálculo detalhado considerando todos os fatores envolvidos para garantir a segurança e a eficiência da estrutura.

APÊNDICE 12: combinações de ações

CHAT GPT



Memória atualizada

Combinações de Ações em Projetos Estruturais

A combinação de ações em projetos estruturais é essencial para garantir a segurança e a funcionalidade das estruturas sob diferentes condições de carregamento. A escolha das combinações e dos coeficientes de ponderação segue normas específicas, como a NBR 8681, que estabelece as diretrizes para as combinações de ações em edificações no Brasil.

1. Tipos de Ações

As ações consideradas nos projetos estruturais são geralmente classificadas em:

- **Permanentes (G):** Incluem o peso próprio da estrutura e cargas fixas, como acabamentos e instalações permanentes.
- **Variáveis (Q):** Incluem cargas que podem variar ao longo do tempo, como sobrecargas de uso, vento, neve, e ações térmicas.
- **Excepcionais (E):** Ações que ocorrem raramente, como explosões, incêndios ou terremotos.

2. Combinações de Ações

As combinações de ações devem ser feitas considerando diferentes estados limites, como Estados Limite Últimos (ELU) e Estados Limite de Serviço (ELS). As principais combinações são:

a. Estados Limite Últimos (ELU)

As combinações para ELU têm como objetivo garantir a segurança da estrutura contra a ruptura ou colapso:

- **Combinação Fundamental (Normal):**

$$\gamma_g \cdot G + \gamma_q \cdot Q$$

- **Coeficientes de Ponderação:**

- **Permanente (G):** $\gamma_g = 1,4$
- **Variável Principal (Q):** $\gamma_q = 1,4$
- **Variável Secundária (Q):** $\gamma'_q = 1,0$

- **Combinação Acidental:**

$$G + \psi_1 \cdot Q + \psi_2 \cdot E$$

- **Coeficientes de Ponderação:**

- Permanente (G): $\gamma_g = 1,0$
- Variável (Q): $\psi_1 = 1,0$
- Acidental (E): $\psi_2 = 0,9$ ou conforme norma específica.

- **Combinação com Ações Excepcionais (Terremotos, Incêndios):**

$$G + E$$

- **Coeficientes de Ponderação:**

- Permanente (G): $\gamma_g = 1,0$
- Excepcional (E): γ_e variável conforme a ação.

b. Estados Limite de Serviço (ELS)

As combinações para ELS visam garantir que a estrutura mantenha sua funcionalidade e conforto durante sua vida útil:

- **Combinação Quase Permanente:**

$$G + \psi_2 \cdot Q$$

- **Coeficientes de Ponderação:**

- Permanente (G): $\gamma_g = 1,0$
- Variável (Q): ψ_2 conforme o tipo de carga (normalmente menor que 1,0).

- **Combinação Frequente:**

$$G + \psi_1 \cdot Q$$

- **Coeficientes de Ponderação:**

- Permanente (G): $\gamma_g = 1,0$
- Variável (Q): $\psi_1 = 0,5$ (ou conforme norma).

3. Particularidades para Edifícios Altos e Pequenos

- **Edifícios Altos:**
 - **Vento:** As ações do vento têm um papel significativo e exigem combinações específicas com maior coeficiente de ponderação para ações variáveis.
 - **Frequência e Excentricidade:** Importância na consideração das forças horizontais devido à ação do vento e à possibilidade de efeitos de torção.
- **Edifícios Pequenos:**
 - **Sobrecargas de Uso:** A sobrecarga de uso pode ter maior influência proporcional na estrutura.
 - **Menor Influência de Vento:** Para edifícios menores, a ação do vento é geralmente menos crítica.

4. Resumo das Combinações Mais Usuais

- **Combinação Normal para ELU:**

$$1,4G + 1,4Q$$

- **Combinação de Serviço (ELS):**

$$G + \psi_2 Q$$

- **Combinação Acidental (ELU):**

$$G + \psi_1 Q + \psi_2 E$$

Essas combinações, juntamente com a aplicação correta dos coeficientes de ponderação, garantem que a estrutura atenda aos requisitos de segurança e funcionalidade durante sua vida útil, adaptando-se às particularidades de cada projeto, seja ele um edifício alto ou pequeno.

GEMINI



Combinações de Ações em Projetos Estruturais: Um Guia Completo

As combinações de ações são fundamentais para garantir a segurança das estruturas, pois permitem simular as diversas situações de carregamento a que a estrutura estará sujeita durante sua vida útil. A NBR 8681:2019 define as regras para a determinação das combinações de ações em estruturas, considerando as particularidades de cada tipo de construção.

Combinações Básicas

As combinações básicas são definidas pela NBR 8681 e podem ser divididas em:

- **Combinações últimas:** Utilizadas para verificar os estados limites últimos, ou seja, a capacidade de resistência da estrutura.
- **Combinações de serviço:** Utilizadas para verificar os estados limites de serviço, como fissuração, deformações excessivas e vibração.

Combinações Básicas

As combinações básicas são definidas pela NBR 8681 e podem ser divididas em:

- **Combinações últimas:** Utilizadas para verificar os estados limites últimos, ou seja, a capacidade de resistência da estrutura.
- **Combinações de serviço:** Utilizadas para verificar os estados limites de serviço, como fissuração, deformações excessivas e vibração.

Particularidades de Edifícios Altos e Pequenos

- **Edifícios Altos:** Devem ser consideradas as ações do vento com maior intensidade, além das ações sísmicas. As combinações devem levar em conta a interação solo-estrutura e os efeitos de segunda ordem.
- **Edifícios Pequenos:** As ações predominantes são as cargas permanentes e as cargas acidentais. A influência das ações do vento e sísmicas pode ser menor, dependendo da localização geográfica.

Coeficientes de Ponderação

Os coeficientes de ponderação são utilizados para majorar ou minorar o valor das ações, de acordo com a sua natureza e a probabilidade de ocorrência simultânea. A NBR 8681 define os valores dos coeficientes de ponderação para cada tipo de ação.

Combinações Mais Usuais

As combinações mais usuais em projetos estruturais são:

- **Combinação característica:** Utilizada para verificar os estados limites de serviço, como fissuração e deformações.
- **Combinação quase permanente:** Utilizada para verificar os estados limites de serviço relacionados à fluência do concreto e à relaxação do aço.
- **Combinação rara:** Utilizada para verificar os estados limites de serviço relacionados à vibração da estrutura.
- **Combinação última:** Utilizada para verificar os estados limites últimos, como a resistência da estrutura.

Exemplo de Combinação Última:

$G + Q + \gamma E.V_k$

- G: Carga permanente
- Q: Carga variável
- γE : Coeficiente de ponderação para a ação variável
- V_k : Valor característico da ação variável

Resumo das Combinações Mais Usuais

Tipo de Combinação	Objetivo	Coeficientes Típicos
Característica	Verificar ELS (fissuração, deformações)	$\gamma_G = 1,0$; $\gamma_Q = 1,0$
Quase permanente	Verificar ELS (fluência, relaxação)	$\gamma_G = 1,0$; $\gamma_Q = 0,3$ a $0,5$
Rara	Verificar ELS (vibração)	$\gamma_G = 1,0$; $\gamma_Q = 0,2$
Última	Verificar ELU (resistência, estabilidade)	$\gamma_G = 1,35$; $\gamma_Q = 1,5$

Observações:

- Os valores dos coeficientes de ponderação podem variar de acordo com a NBR 8681 e com as particularidades de cada projeto.
- A escolha das combinações de ações a serem utilizadas depende da importância da estrutura, das condições de exposição e dos requisitos de segurança.
- É fundamental que o engenheiro calculista tenha um bom conhecimento das normas técnicas e das ferramentas computacionais disponíveis para a análise estrutural.

Conclusão

As combinações de ações são um aspecto fundamental no projeto estrutural, pois permitem simular as diversas situações de carregamento a que a estrutura estará sujeita durante sua vida útil. Ao realizar as combinações de ações de forma correta, o engenheiro garante a segurança e a durabilidade da obra.

Para um dimensionamento preciso e seguro, recomenda-se a utilização de softwares de análise estrutural e a consulta a profissionais especializados.

COPILLOT



Copilot

✓ Gerando respostas para você...

Para garantir a segurança estrutural adequada em projetos de edifícios, tanto altos quanto pequenos, é essencial seguir as normas específicas de combinação de ações. A NBR 8681:2003 é a norma brasileira que trata das ações e combinações de ações em estruturas. Aqui estão as principais diretrizes:

Combinações de Ações

Edifícios Altos

1. Ações Permanentes (G):

- Peso próprio da estrutura, revestimentos, paredes, etc.
- Coeficiente de ponderação: 1,4 ¹.

2. Ações Variáveis (Q):

- Cargas de uso e ocupação, vento, etc.
- Coeficiente de ponderação: 1,4 para cargas de uso e 1,4 para vento ¹.

3. Ações Acidentais (A):

- Sismos, impactos, etc.
- Coeficiente de ponderação: 1,2 ¹.

Edifícios Pequenos

1. Ações Permanentes (G):

- Peso próprio da estrutura, revestimentos, paredes, etc.
- Coeficiente de ponderação: 1,4 ¹.

2. Ações Variáveis (Q):

- Cargas de uso e ocupação, vento, etc.
- Coeficiente de ponderação: 1,4 para cargas de uso e 1,4 para vento ¹.

3. Ações Acidentais (A):

- Sismos, impactos, etc.
- Coeficiente de ponderação: 1,2 ¹.

Combinações Usuais nos Projetos Estruturais

1. Combinação Normal (ELU):

- $1,4G + 1,4Q$
- Utilizada para verificar a segurança da estrutura sob condições normais de uso ².

2. Combinação de Vento (ELU):

- $1,4G + 1,4W$
- Considera a ação do vento em edifícios altos, onde W é a carga de vento ².

3. Combinação de Sismo (ELU):

- $1,2G + 1,2Q + 1,0A$
- Utilizada para verificar a segurança da estrutura em situações de sismo ^[2].

4. Combinação de Serviço (ELS):

- $G + Q$
- Utilizada para verificar deformações e fissurações sob condições normais de uso ^[2].

Resumo das Combinações Mais Usuais

- **ELU Normal:** $1,4G + 1,4Q$
- **ELU Vento:** $1,4G + 1,4W$
- **ELU Sismo:** $1,2G + 1,2Q + 1,0A$
- **ELS:** $G + Q$